

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ROBOTIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Robotizované pracoviště kontroly slévárenských forem

Robotized Workplace for the Check of Foundry Molds

Student:

Bc. Radek Müller

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Müller**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: Robotizované pracoviště kontroly slévárenských forem
Robotized Workplace for the Check of Foundry Molds
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav provádění kontroly a přípravy formy pro výrobu.
2. Sestavte podrobný požadavkový list pro robotizované pracoviště kontroly a přípravy formy.
3. Navrhněte možné koncepty řešení pracoviště a koncového efektoru robotu.
4. Vybraný koncept pracoviště a efektoru rozpracujte do podoby podrobného 3D modelu.
5. Navržené řešení pracoviště a efektoru doložte podrobnou technickou dokumentací dle pokynů vedoucího práce.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému dle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

BURKOVIČ, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

PALCO, A., SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efekторы pre priemyslné a servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia - Riešenia*. 1. vydání. Košice: TU v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3.

NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 104 s. ISBN 80-7078-733-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Datum zadání:

Datum odevzdání:

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., Zákon o právu autorském, o právu souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- užít toto své dílo nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/ 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů /zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Radek Müller

Adresa trvalého pobytu autora práce: Pražmo 115, 739 04 Pražmo

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MÜLLER, R. Robotizované pracoviště kontroly slévárenských forem: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2018, 65 s. Vedoucí práce: Ing. Václav Krys, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem robotizovaného pracoviště pro manipulaci objektů vkládaných do slévárenských forem. V úvodu se provedla analýza všech dodaných komponent a vytvořil se požadavkový list. Z těchto dat jsou navrženy technologie manipulace a konstrukčně zpracovány do formy manipulačního efektoru. Další část práce se zabývá potřebnými periferiemi, které zajišťují přísun objektů manipulace na pracoviště. V poslední části je zmíněn manipulační proces na referenční formě a proveden hrubý cenový odhad. Konstrukční zpracování efektoru a layout pracoviště jsou podloženy technickou dokumentací zpracovanou v software CREO Parametric.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MÜLLER, R. Robotized Workplace for the Check of Foundry Molds: Master (Bachelor) Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotics, 2018, 58 p. Thesis head: Ing. Václav Krys, Ph.D.

Master thesis is describing a concept of robotic workplace which handles foundry mold components. At first, the analysis of delivered components was made and then were described initial conditions and list of requirements. From this data was designed end-effector for manipulation. Next part describes necessary devices which are delivering objects into workplace. In the last part is mentioned entire manipulation process of defined foundry mold and calculated approximate price list. Mechanical documentation and workplace layout are made in CREO Parametric software.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Seznam obrázků | 9 |
| Seznam tabulek | 12 |
| Seznam použitých značek a symbolů | 13 |
| Úvod | 14 |
| 1 Formulace úlohy..... | 15 |
| 1.1 Současný stav pracoviště | 15 |
| 1.2 Vstupní data pro automatizaci | 16 |
| 2 Analýza řešené technologie slévání..... | 17 |
| 2.1 Analýza komponent a jejich uložení | 17 |
| 2.1.1 Podložky | 17 |
| 2.1.2 Vtokové filtry | 19 |
| 2.1.3 Ucpávky | 20 |
| 2.1.4 Jádra | 22 |
| 2.2 Analýza pracoviště | 23 |
| 2.2.1 Pracovní cyklus | 23 |
| 2.2.2 Pracovní prostor robotu..... | 23 |
| 2.2.3 Potřebné periferie..... | 24 |
| 2.2.4 Referenční forma | 24 |
| 2.3 Vyhodnocení analýzy | 27 |
| 3 Rešerše technologie pro automatizaci | 28 |
| 3.1 Efektory | 28 |
| 3.1.1 Technologie pro podložky | 28 |
| 3.1.2 Technologie pro vtokové filtry a ucpávky | 30 |
| 3.1.3 Technologie pro jádra | 32 |
| 3.2 Automatická výměna efektorů | 34 |
| 3.3 Celkové zhodnocení funkce | 35 |
| 3.4 Roboty a manipulátory | 35 |
| 3.4.1 Robot Gantry..... | 36 |
| 3.4.2 Robot Scara..... | 36 |
| 3.4.3 Paletizační robot..... | 37 |
| 3.4.4 Kooperativní robot..... | 37 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 3.4.5 | Průmyslový robot..... | 38 |
| 4 | Zpracování technologie manipulace..... | 39 |
| 4.1 | Sub-efektory | 39 |
| 4.1.1 | Podložky | 39 |
| 4.1.2 | Vtokové filtry a Ucpávky..... | 40 |
| 4.1.3 | Jádra | 40 |
| 4.1.4 | Zjištění referenční pozice formy | 41 |
| 4.2 | Struktura hlavních efektorů | 43 |
| 4.3 | Automatická výměna efektorů | 45 |
| 4.4 | Výběr robotu..... | 46 |
| 4.4.1 | Uzpůsobení interface | 48 |
| 4.5 | Periferie manipulace | 49 |
| 4.5.1 | Technologické palety | 53 |
| 4.5.2 | Řetězové dopravníky | 55 |
| 4.5.3 | Dopravníky filtrů se zásobníky | 56 |
| 4.5.4 | Dopravník jader JDR | 57 |
| 5 | Zpracování RTP | 58 |
| 5.1 | Layout pracoviště | 58 |
| 5.2 | Zabezpečení..... | 59 |
| 5.3 | Základní pracovní cyklus | 60 |
| 5.4 | Cenový odhad..... | 61 |
| Závěr | | 62 |
| Seznam použité literatury | | 63 |
| Přílohy | | 64 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 - Linka s operátorem..... | 15 |
| Obr. 2 - Podložky..... | 17 |
| Obr. 3 - Žlábký podložek..... | 18 |
| Obr. 4 - Tolerance žlábků vůči podložkám..... | 18 |
| Obr. 5 - Vtokové filtry | 19 |
| Obr. 6 - Otvory pro vtokové filtry | 19 |
| Obr. 7 - Tolerance otvorů vtokových filtrů..... | 20 |
| Obr. 8 - Ucpávka..... | 20 |
| Obr. 9 - Otvor pro ucpávky..... | 21 |
| Obr. 10 - Tolerance otvorů ucpávek | 21 |
| Obr. 11 – Jádra..... | 22 |
| Obr. 12 - Manipulační otvory jader | 22 |
| Obr. 13 - Referenční forma manipulačního cyklu | 24 |
| Obr. 14 - Operace č. 1 | 25 |
| Obr. 15 - Operace č. 2..... | 25 |
| Obr. 16 - Operace č. 3..... | 26 |
| Obr. 17 - Operace č. 4..... | 26 |
| Obr. 18 - Kolize čelistí s formou | 28 |
| Obr. 19 - Otvory na plochách podložek..... | 29 |
| Obr. 20 - SMC MHM-X6400 | 29 |
| Obr. 21 - SGM - HP / 20..... | 30 |
| Obr. 22 - Konstrukčně navržené chapadlo filtrů..... | 31 |
| Obr. 23 - GEH6060IL..... | 32 |
| Obr. 24 - Stávající manipulátor jader..... | 32 |
| Obr. 25 - Detail stlačení pryže | 33 |
| Obr. 26 - LG30-35 | 34 |
| Obr. 27 - Rozložení efektorů a modularita | 35 |
| Obr. 28 - Robot Gantry | 36 |
| Obr. 29 - Robot Scara | 36 |

| | |
|---|----|
| Obr. 30 - Robot pro paletizace..... | 37 |
| Obr. 31 - Kooperativní roboty UR..... | 37 |
| Obr. 32 - Univerzální průmyslový robot | 38 |
| Obr. 33 - Sub-efektor podložek | 39 |
| Obr. 34 - Sub-efektor filtrů a ucpávek..... | 40 |
| Obr. 35 - Sub-efektor jader | 40 |
| Obr. 36 - Detekce obrysu pískové části | 41 |
| Obr. 37 - Příklad individuální reference | 42 |
| Obr. 38 - Teledyne BOA 2 s LED přísvitom | 42 |
| Obr. 39 - Konstrukční úchyt smart kamery | 43 |
| Obr. 40 - Efektor manipulace 1 | 43 |
| Obr. 41 - Efektory manipulace 2 | 44 |
| Obr. 42 - Kontrola zakládací hloubky sub-efektorů | 44 |
| Obr. 43 - Modul automatické výměny efektorů | 45 |
| Obr. 44 - Efektorová stanice | 46 |
| Obr. 45 - IRB 4600-40/2.55..... | 48 |
| Obr. 46 - Interface robot – modul | 48 |
| Obr. 47 - Interface modul - nástroj | 49 |
| Obr. 48 - Vibrační zásobník..... | 50 |
| Obr. 49 - Princip vertikálního zásobníku..... | 51 |
| Obr. 50 - Koncept vertikálního zásobníku palet | 51 |
| Obr. 51 - Zásuvkový zásobník Yaskawa | 52 |
| Obr. 52 - Koncepce technologické palety ucpávek | 53 |
| Obr. 53 - Koncepce komínu palet | 53 |
| Obr. 54 - Kapacita technologických palet | 54 |
| Obr. 55 - Koncepce řetězových dopravníků | 55 |
| Obr. 56 - Řez dopravníkem..... | 55 |
| Obr. 57 - Koncepce pásového dopravníku se zásobníkem | 56 |
| Obr. 58 - Koncepce tvarového dorazu pro definici polohy | 56 |
| Obr. 59 - Dopravník jader s referenčními jádry..... | 57 |
| Obr. 60 - Náhled pracoviště..... | 58 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| Obr. 61 - Mechanické závory | 59 |
| Obr. 62 - Světelná závora | 59 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 - Výčet prvků ovládání sub-efektorů | 27 |
| Tabulka 2 - Výčet vstupů EFM 1..... | 45 |
| Tabulka 3 - Výčet vstupů EFM 2..... | 45 |
| Tabulka 4 - Součet hmotností pro dimenzování nosnosti robotu | 47 |
| Tabulka 5 - Cenový odhad pracoviště | 61 |

Seznam použitých značek a symbolů

| | |
|-----|--|
| RTP | robotizované pracoviště |
| OM | objekt manipulace |
| FLT | označení objektu manipulace – Filtr |
| JDR | označení objektu manipulace – Jádru |
| PDL | označení objektu manipulace – Podložka |
| UCP | označení objektu manipulace – Ucpávka |
| ODF | Odlévací forma |
| EFM | Efektor manipulace |
| PFP | označení periferie – Podavač |

Úvod

V této diplomové práci se navrhuje koncepce robotizovaného manipulačního pracoviště, které má zakládat prvky do pískových forem. Práce vznikla jako studie možné automatizace, z důvodu velké zmetkovitosti, zapříčiněné lidským faktorem. Slévárnou byla zadána také druhá diplomová práce, která popisuje technologii optické kontroly forem po jejich založení operátorem. Tato technologie kooperuje s využitím optické diagnostiky v této práci. Jako vstupní data byly poskytnuty fyzické vzorky, výkres současného stavu a požadavky na manipulaci, které se strukturovaně zaznamenaly do požadavkového listu.

Slévárna měla především zájem o průzkum vhodných technologií manipulace a vytvoření vhodných manipulátorů. Proto je v práci přiložena kompletní výkresová dokumentace koncových efektorů robotu.

Dále bylo nutné vyřešit způsob manipulace vkládaných dílů na pracoviště tak, aby bylo možné je automatizovaně odebírat. Tyto úvahy vedly k dalším specifikacím a dodatečným požadavkům. Některé objekty nebyly kompletně definované a komplikovaly vznik koncepcí pro jejich manipulaci. Z těchto důvodů se na pracovišti využívá i relativně složité diagnostiky souřadnic pomocí smart kamery.

Celková koncepce byla zpracována do podoby 3D modelu a výkresová dokumentace obsahuje layout její finální varianty.

1 Formulace úlohy

1.1 Současný stav pracoviště

Slévárenská linka vyrábí hliníkové a litinové odlitky hmotností 10-600 kg. Převážně má zakázky na odlitky pro skříně motorů těžké techniky, jako jsou v např. traktory. Kapacitně zvládá až 50 000 kusů odlitků ročně dohromady na čtyřech linkách.

Pro tuto práci je podstatná část slévárny, kde se zakládají díly do spodní části formy. Zhotovení forem je prováděno manuálně, kde operátor linky má podle jednoznačně definovaných sledů kroků umisťovat jednotlivé prvky. Jedná se o distanční podložky, vtokové filtry, jádra a ucpávky.



Obr. 1 - Linka s operátorem

Zdroj: <http://www.heunisch-guss.com>

Slévárna se však potýká s nadměrnou zmetkovitostí z důvodu lidského faktoru:

- nepochopení sledu kroků přípravy formy,
- nepřesné, úplně špatné nebo zapomenutí umístění komponent (některé díly jsou si velmi podobné),
- fluktuace zaměstnanců.

Tyto faktory vedly k úvahám o robotizaci některých úkonů přípravy forem. V první řadě se zkoumá optická diagnostika zhotovených forem a uložení komponent. Jako druhá varianta přichází v úvahu plná robotizace zhotovení formy, čímž se bude tato práce zabývat.

1.2 Vstupní data pro automatizaci

Slévárna má zájem o prozkoumání vhodných technologií manipulace a návrh pracoviště. Pro umístění pracoviště poskytli prostory 8 x 10 m a výkres půdorysu se základními rozměry [Příloha C:].

Na testování byly dodány všechny druhy objektů manipulace:

- podložky (6 druhů),
- filtry (4 druhy),
- jádra (1 druh),
- ucpávky (1 druh).

Také dodali plastovou verzi spodní části odlévací formy. V průběhu řešení se vyžadovaly další informace, potřebné k vytvoření robotizované koncepce.

- všechny prvky formy jsou zakládány shora,
- mezní rozměry a hloubka forem jsou definovány,
- jsou známy kritické pozice a tolerance prvků ve formě,
- písková část formy se od kovové barevně odlišuje,
- přísun jader na pracoviště zajištěn na paletách nebo dopravníkem,
- dopravník forem zastavuje v pravidelných intervalech.

Za splnění těchto předpokladů je možné vytvářet manipulační programy pro všechny dosud používané formy.

2 Analýza řešené technologie slévání

2.1 Analýza komponent a jejich uložení

Všechny vkládané díly byly prozkoumány podle vlastností, které jsou důležité pro návrh způsobu manipulace. Hlavní rozdělení je podle účelu ve formě, tím se ucelily důležité parametry, především rozměry, materiál a tvar. Souhrn těchto vlastností je zaznamenán do tabulkové struktury pro přehlednější orientaci. [Příloha D:]. Ke znázornění základacích míst byly vymodelovány části formy simulující kritické pozice.

2.1.1 Podložky

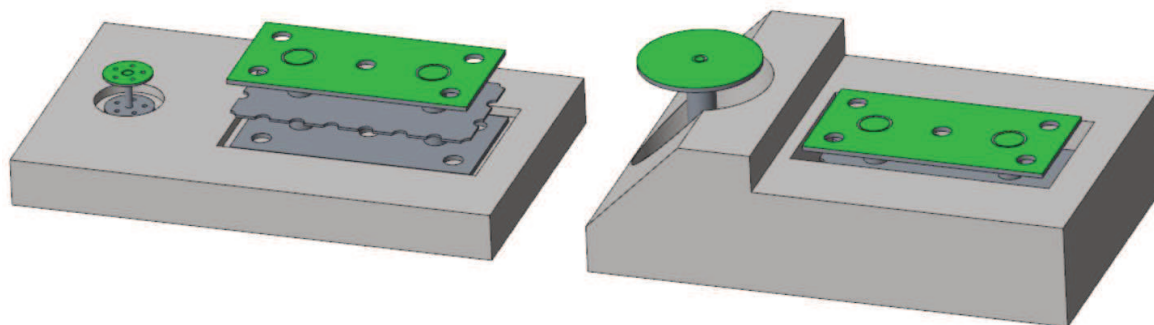
Tyto součástky jsou vyráběny z oceli a slouží k podepření jader a zajištění tloušťky stěny odlitku v daném místě. Vkládají se jako první do spodní části formy a v některých případech i na horní plochy jader, kde vymezují průchodnost a tloušťku litiny mezi jádrem a horní částí formy.



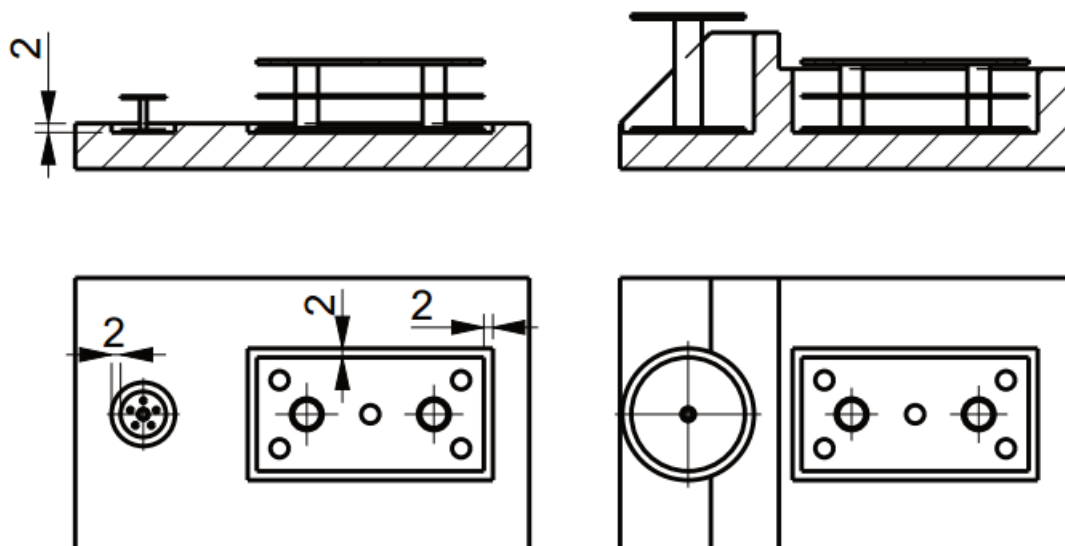
Obr. 2 - Podložky

Jejich tvar má podobné znaky, rovné tenkostěnné plechy spojené vertikální podporou kruhovitěho průřezu. Obrysový tvar podložek je válec nebo kvádr. Detailní klasifikace je v příloze [Příloha D: - VDF].

Podložky jsou ve formě vkládány do 2 mm mělkých nebo hlubších žlábků, které mají výšku maximálně jako výška příslušné podložky. V některých případech je žlábek částečně zkosený. Prostor pro zakládání podložek je dimenzován 2 milimetry na každou stranu.



Obr. 3 - Žlábký podložek



Obr. 4 - Tolerance žlábků vůči podložkám

2.1.2 Vtokové filtry

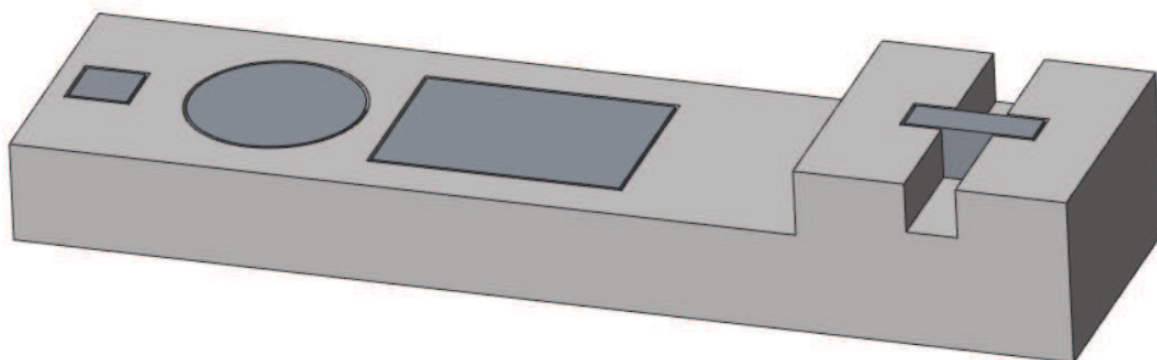
Vtokové filtry jsou vyráběny z neželezných kovů především na bázi hliníku. Mají pórovitou strukturu, přes kterou protéká litina. Umisťují se buď na horní části jader, nebo přímo do struktury formy naplocho, nebo jako kazeta. Naplocho dosednou do roviny jádra nebo formy a při vkládání jako kazeta je pokaždé zajištěna manipulační drážka o šířce minimálně 30 mm a hloubce 15 mm.



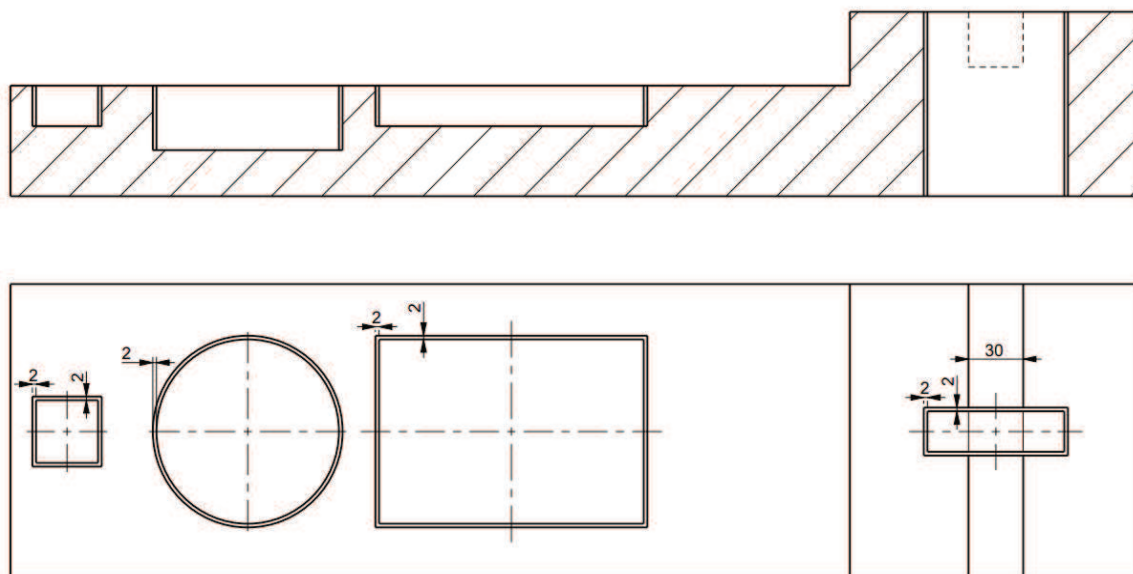
Obr. 5 - Vtokové filtry

Tvarově se dají jejich obrysy popsat také jako válce a kvádry. Detailní klasifikace je v příloze [Příloha D: - FLT].

Otvory pro vtokové filtry mají také toleranci 2 mm na každou stranu.



Obr. 6 - Otvory pro vtokové filtry



Obr. 7 - Tolerance otvorů vtokových filtrů

2.1.3 Ucpávky

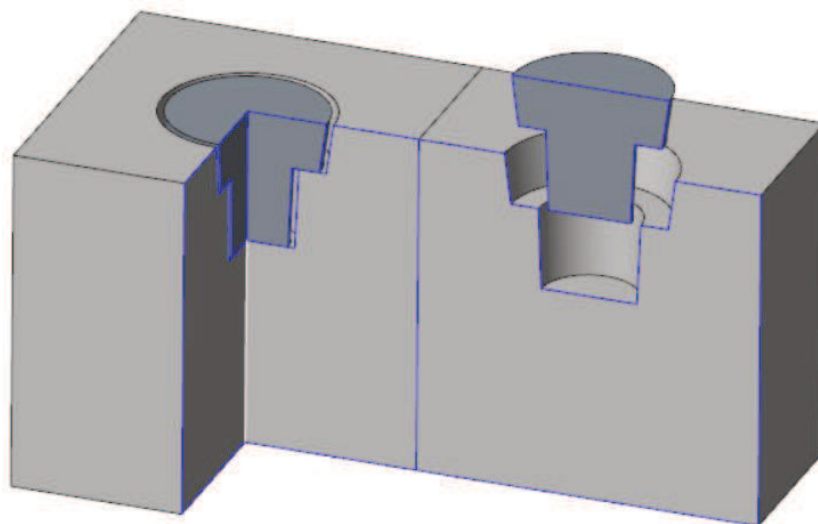
Ucpávky mají pouze jeden druh a tvar. Jsou vyráběny ze stejného materiálu jako jádra. Ve formě slouží k zabránění vtoku litiny do otvorů v jádru, které jsou určeny k manipulaci.



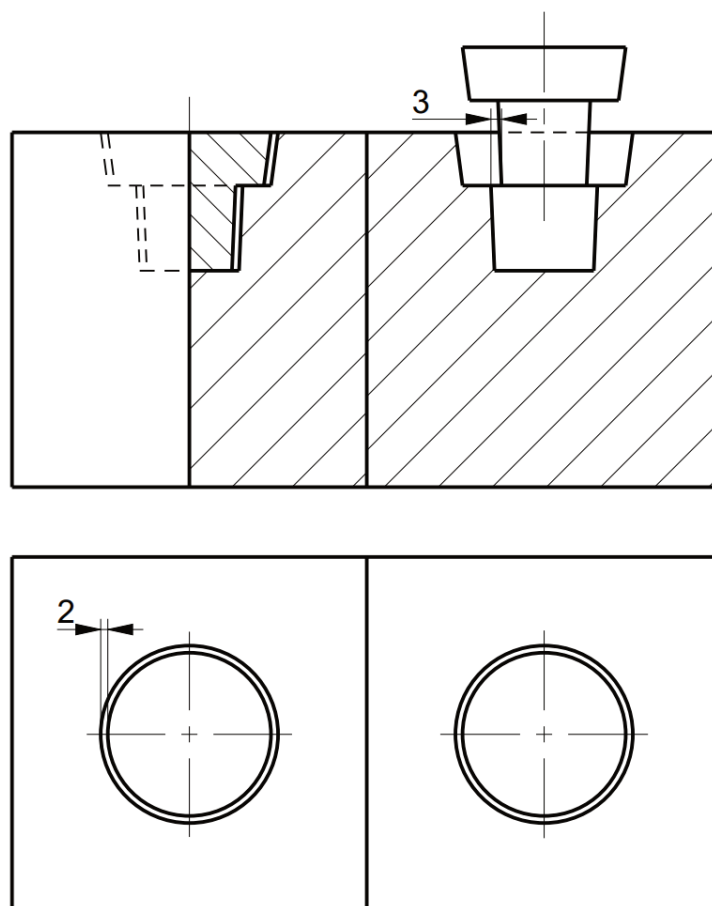
Obr. 8 - Ucpávka

Detailní parametry jsou v příloze [Příloha D: - UCP].

Ucpávky jsou v jádru uloženy do tvarově identických otvorů se zkosením. Pod úrovní ucpávky pokračuje díra průměru 32 mm, která slouží k manipulaci jader (není na následujících obrázcích).



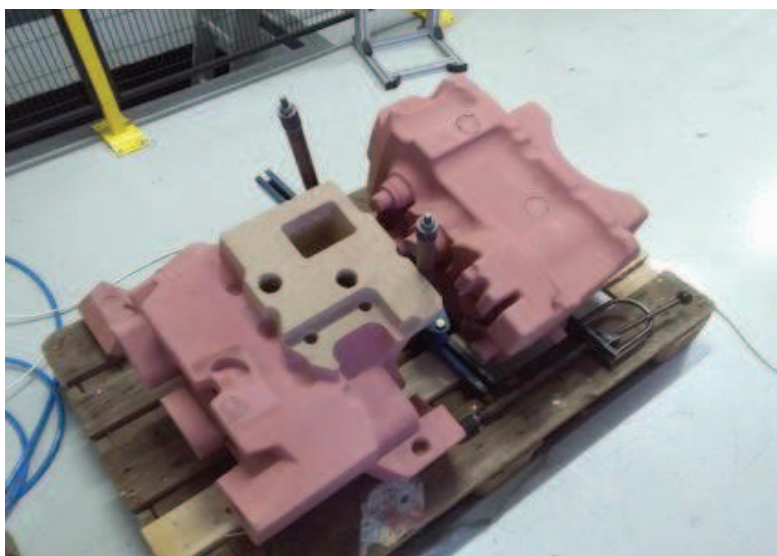
Obr. 9 - Otvor pro ucpávky



Obr. 10 - Tolerance otvorů ucpávek

2.1.4 Jádra

Jádra jsou přítomna ve většině případů odlévacích forem. Vyrábějí se z písku a jsou tvarově různorodá. V případě návrhu pracoviště může jedna forma mít pouze více jader stejného tvaru. Manipulace s nimi je oproti ostatním prováděna speciálním manipulátorem, z důvodu jejich hmotnosti v řádech kilogramů. Pro manipulaci jsou připraveny otvory, které jsou vždy umístěny na horní straně jádra. Tyto otvory jsou poté vyplněny již definovanými ucpávkami. Jádra do 5 kg mají jeden manipulační otvor a těžší dva otvory se stejnou hloubkou a definovanou roztečí.



Obr. 11 – Jádra

Obecně popisovat tvar jádra není pro manipulační proces důležité, protože jejich pozice ve formě je jasně definovaná a manipulace je uskutečněna přes otvory. Důležitým parametrem je počet otvorů (hmotnost) a referenční pozice vůči formě včetně výšky.



Obr. 12 - Manipulační otvory jader

2.2 Analýza pracoviště

Ke zjištění časových a kapacitních nároků byla definována posloupnost úkonů, kterou nelze z důvodu prostorového uspořádání prvků měnit (spodní podložky nelze dát po vložení jádra). Jako požadavek byla definována referenční forma, která musí být zhotovena za 120 sekund. Přesun prázdné formy na pozici zhotovené byl určen na 10 s. V ten okamžik má robot možnost si předem uchopit díly pro první krok zhotovení následující formy.

2.2.1 Pracovní cyklus

Popis stávajícího procesu na zkoumaném úseku pracoviště:

1. Příjezd formy na dopravní lince
2. Zastavení linky s formou na definovanou pozici
3. Vkládání objektů do formy podle zadané posloupnosti
 - 3.1. podložky spodní části formy a vtokové filtry, které nepatří do jader,
 - 3.2. jádra a ucpávky,
 - 3.3. vtokové filtry, které patří do jader a podložky pro horní část formy.
4. Odjezd formy z pozice
5. Uzavření formy horním dílem (již není součástí zkoumaného cyklu)

2.2.2 Pracovní prostor robotu

Z požadavkového listu je definován maximální rozměr formy, jmenovitá pozice a základní layout pro rozvržení pracoviště. Robot se dimenzuje tak, aby dosáhl do všech míst pískové části formy a dále k zásobám vkládaných dílů. V první řadě budou navrženy technologie efektorů a periférií – podavačů, následně se zvolí vhodný druh robotu.

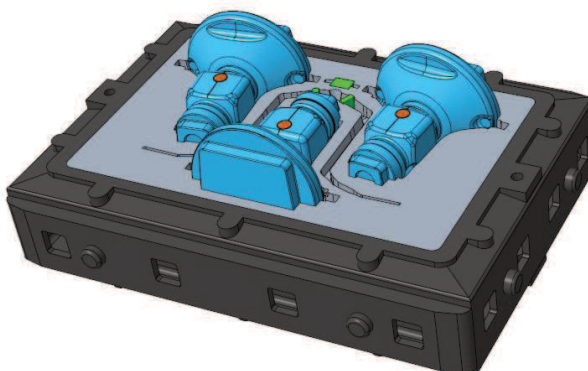
2.2.3 Potřebné periferie

Na pracoviště musí být dopraveny všechny objekty manipulace v definované pozici, aby bylo umožněno je správně automatizovaně uchopovat. Dále je třeba uvažovat o nepřesnosti pozice referenční formy a podle toho i poloh zakládacích pozic v její pískové části. Kapacita vkládaných dílů, dokud nebude potřeba je doplnit, nebyla předem definována, ale bylo předpokládáno, že minimální doba, je alespoň 1 hodina.


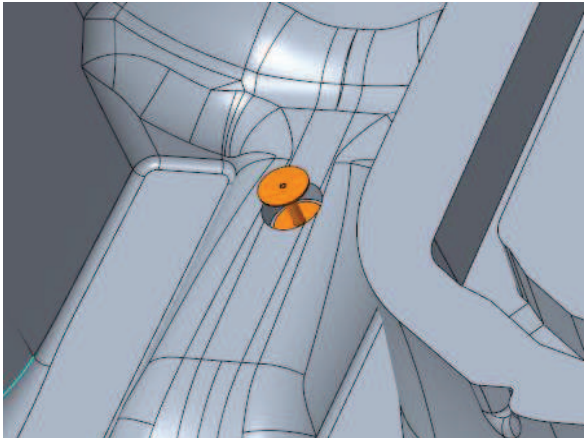
2.2.4 Referenční forma

Za operační cyklus 120 (+ 10) s se provedou manipulační operace:

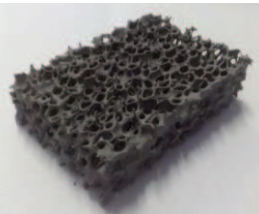
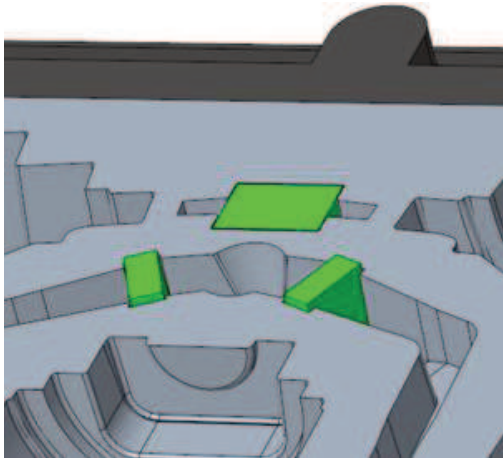
1. Spodní podložky – 1druh / 3ks
2. Vtokové filtry – 1druh / 3ks
3. Jádra – 1druh / 3ks
4. Ucpávky – 1druh / 3ks



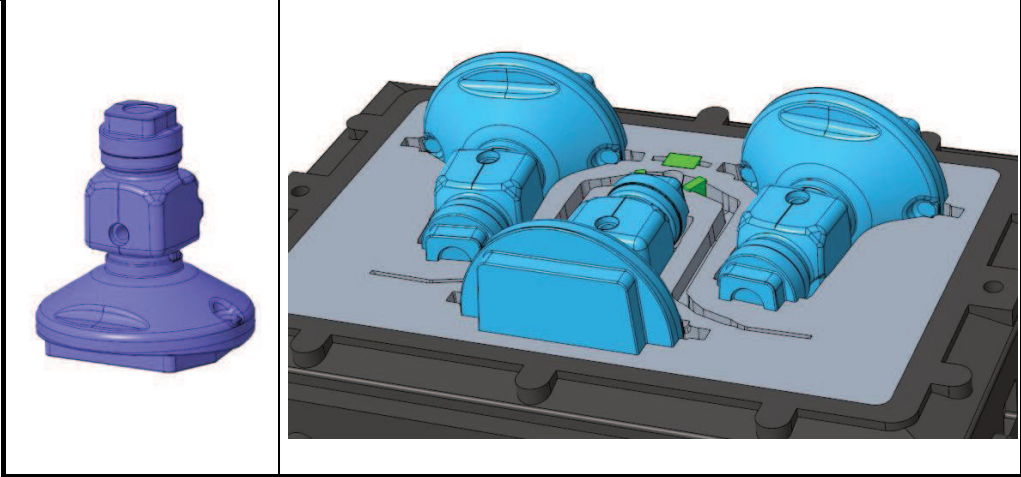
Obr. 13 - Referenční forma manipulačního cyklu

| Operace č.1 | | | | |
|--|----------|-------|-------|--------|
| ROP_1 | Typ | ID | Počet | Pozice |
| | Podložka | PDL_4 | 3 | |
| <div></div> <div></div> | | | | |

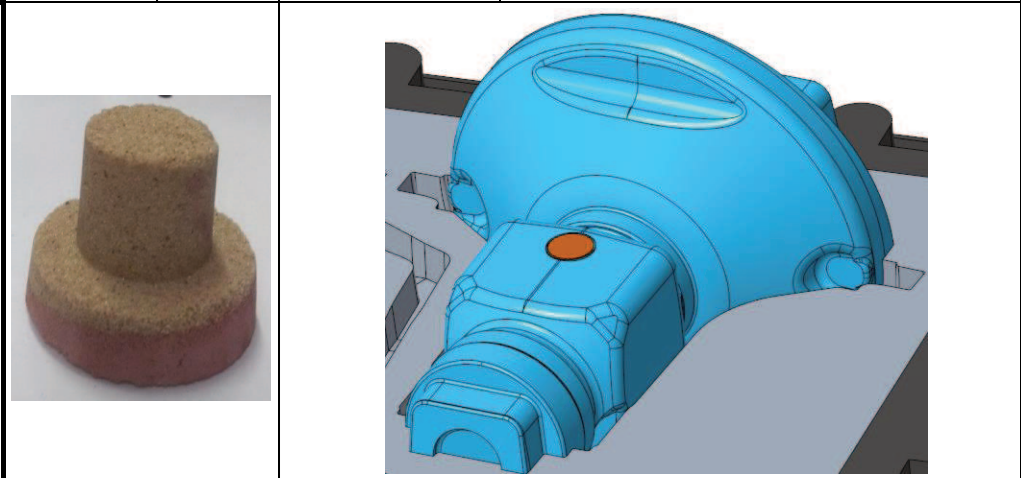
Obr. 14 - Operace č. 1

| Operace č.2 | | | | |
|--|-------|-------|-------|--------|
| ROP_2 | Typ | ID | Počet | Pozice |
| | Filtr | FLT_3 | 3 | |
| <div></div> <div></div> | | | | |

Obr. 15 - Operace č. 2

| Operace č.3 | | | | |
|--|-------|-------|-------|--------|
| ROP_3 | Typ | ID | Počet | Pozice |
| | Jádro | JDR_1 | 3 | |
|  | | | | |

Obr. 16 - Operace č. 3

| Operace č.4 | | | | |
|--|---------|-------|-------|--------|
| ROP_4 | Typ | ID | Počet | Pozice |
| | Ucpávka | UCP_1 | 3 | |
|  | | | | |

Obr. 17 - Operace č. 4

2.3 Vyhodnocení analýzy

Přestože operátoři mají definovanou jasnou posloupnost vkládání každého objektu manipulace (včetně pořadí podložek, filtrů atd.), lze to v robotizované variantě částečně upravit, protože daná posloupnost slouží k minimalizaci chyby lidského faktoru. Dále je nutné mechanicky nebo senzoricky zajistit přesnou referenční pozici formy. Pokud má být kapacita převedena na referenční formu, je nutné mít na pracovišti kapacitu:

Tabulka 1 - Výčet prvků ovládání sub-efektorů

| <i>Prvek</i> | <i>Počet/forma</i> | <i>Počet/hodina</i> |
|----------------------|--------------------|---------------------|
| <i>Podložka</i> | 3 | 90 |
| <i>Vtokový filtr</i> | 3 | 90 |
| <i>Jádro</i> | 3 | 90 |
| <i>Ucpávka</i> | 3 | 90 |

V dalších kapitolách se navrhne technologické i konstrukční řešení efektorů s přihlédnutím na manipulační proces. Poté se bude uvažovat o možnostech periferií - podavačů a jejich kapacitě.

3 Rešerše technologie pro automatizaci

Obecně bylo prozkoumáno více možných technologií, kde se zjišťovaly klady a zápory. Některé technologie nebyly vhodné po rychlém uvážení, jinak bylo rozhodnuto na základě diskuze.

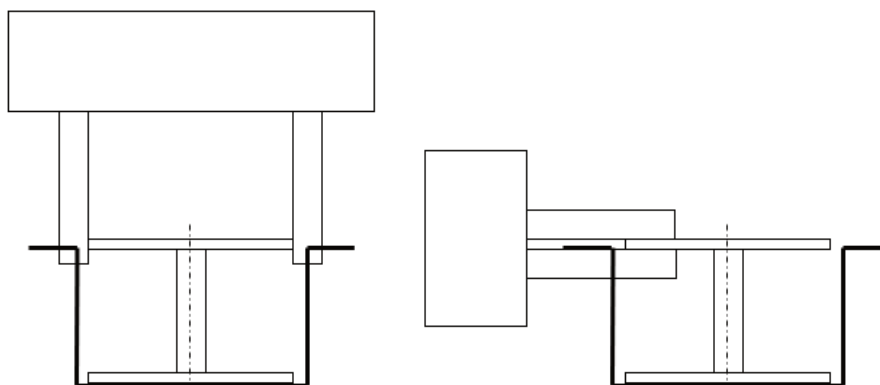
3.1 Efektory

Na základě informací z analýz vkládaných dílů a požadavků na umístění ve formě se prozkoumaly vhodné technologie manipulace. Vzhledem k rozmanitosti hmotností, tvarů a materiálů objektů manipulace byly vyhodnoceny technologie pro každý typ objektu zvlášť.

3.1.1 Technologie pro podložky

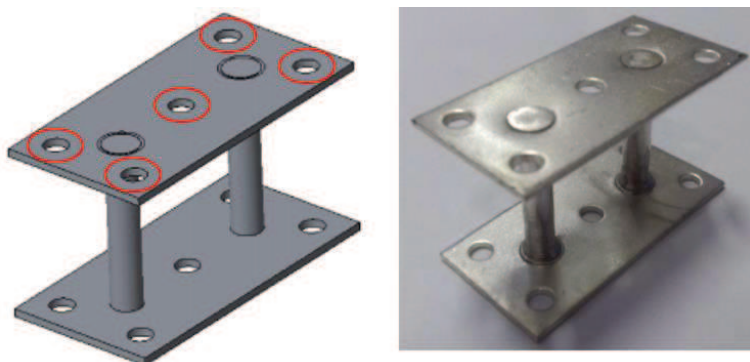
Z analýzy [Příloha D: - PDL] se určily mezní rozměrové a hmotnostní parametry. Dalším důležitým faktorem je orientace podložky při vkládání. Ve všech případech je podložka svým rovným povrchem vodorovně, ale nastává situace, kdy může být zapuštěna do žlábků skoro o stejné hloubce, jako je její výška. Z analyzovaných omezení přichází v úvahu čelist'ové, pneumatické nebo magnetické chapadlo.

Čelist'ové chapadlo bylo hned zamítnuto z důvodu možné kolize čelistí s formou.



Obr. 18 - Kolize čelistí s formou

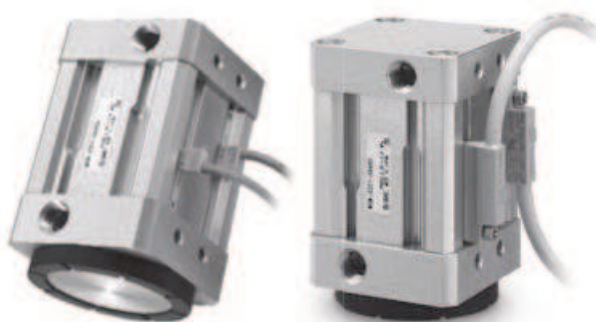
Pneumatická přísavka byla také zamítnuta z důvodu otvorů na horních plochách některých podložek, které by mohly zapříčinit ztrátu podtlaku a způsobit odpadnutí.



Obr. 19 - Otvory na plochách podložek

Proto byly dále zkoumány možnosti manipulátoru s permanentním magnetem. Pro zkoušku bylo laboratorně otestováno pár vzorků na manipulátoru SMC MHM-X6400, který má sice magnetickou sílu silně předimenzovanou, ale potvrdily se tím magnetické účinky oceli podložek a vhodnost této technologie.

Katalog SMC a Festo nabízí pouze jeden výše zmíněný druh těchto manipulátorů, kde nejslabší varianta má přídržnou sílu 30 N. Byly proto vyhledány další varianty s možností slabší přídržné síly a kompaktnějším provedením.



Obr. 20 - SMC MHM-X6400

Zdroj: <https://www.smc.eu>

Dalším větším dodavatelem této technologie je společnost SCHMALZ, jejichž katalog nabízí pro tuto úlohu širší sortiment a také s kompaktnějšími provedeními. Po prohledání dalších variant na internetu u různých společností po celém světě byl SCHMALZ stále nejvhodnější variantou.

Vybraný model pro manipulaci s podložkami: **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** SGM-HP / 20

- Přídržná síla: 13 – 21 N (Podle vzdálenosti objektu od magnetu)
- Rozměry: 20x20x78 mm
- Ideální operační tlak: 2,5 – 6 bar
- Hmotnost: 81 g



Obr. 21 - SGM - HP / 20

Zdroj: <https://www.schmalz.com>

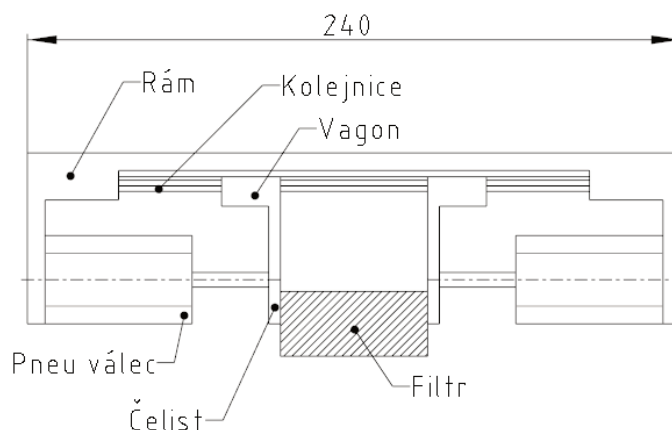
3.1.2 Technologie pro vtokové filtry a ucpávky

Z analýzy objektů manipulace bylo určeno, že vtokové filtry i ucpávky jsou z jiného materiálu, než železných kovů a jejich povrch není vhodný pro použití přísavek ani magnetů. Vzhledem k podobnosti způsobu jejich zakládání byly technologie sloučeny.

Základní požadavky pro manipulaci s filtry a ucpávkami:

- Rozteč čelistí: 20 – 110 mm
- Nosnost: 0,1 kg

Po diskuzi bylo vyhodnoceno, že nejlepší variantou se jeví lineární čelistové chapadlo. Proběhly možné konstrukční návrhy a také se zkoumaly katalogové varianty od vícera výrobců. Vlastní konstrukční návrhy na principu stlačení čelistí na lineárním vedení pomocí pneumatických válců se jevily jako nejlevnější varianta. Problémem se však staly výsledné rozměry chapadla, které by mohly způsobovat kolize při zakládání. Za použití kompaktních ISO válců byl rozměr chapadla předpokládán 240 mm, který nevyhovoval nárokům.



Obr. 22 - Konstrukčně navržené chapadlo filtrů

Na základě potřeby minimalizace rozměrů byly vyhledány vhodné alternativy. Zjistilo se, že nejmenšími lineárními chapadly jsou elektrické varianty, které jsou také výhodné v širokých možnostech řízení, zatímco pneumatická chapadla mají pouze dvě polohy a nepřesnou synchronizaci stlačení čelistí. Po detailnějším zhodnocení byl zvolen manipulátor společnosti Zimmer group.

Vybraný model pro manipulaci s filtry a ucpávkami: **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**
GEH6060IL

- Rozteč: 60 mm / čelist
- Přítlačná síla: volitelná (podle zdroje až 2500 N)
- Rozměry: 130x62x46 mm
- Rychlost: 60 mm/s / čelist



Obr. 23 - GEH6060IL

Zdroj: <http://www.zimmer-group.de/>

3.1.3 Technologie pro jádra

Nejprve byl prozkoumán dříve zmíněný manipulátor jader a jeho princip. Ten spočívá ve stažení pryžového prstence, který tím zvětší svůj průměr a tlačí na stěny manipulačních otvorů v jádrech. Ke stlačení pryže se využívá páky, která za pomoci tyče v trubce stáhne pryžovou část.



Obr. 24 - Stávající manipulátor jader



Obr. 25 - Detail stlačení pryže

Návrh efektoru jader bude vycházet z tohoto principu, jelikož pro manipulaci s jádry byly tyto otvory definované i pro tuto práci. Existují mechanismy na pneumatickém principu, které umožňují manipulaci např. vnitřní strany sklenice, nebo válcových děr. Fungují na stejném principu: “Stlačení pryže.” Bohužel pneumatický systém má vůči mechanickému mnohem menší sílu stlačení, a proto není vhodný pro tyto aplikace. Po dalším zkoumání technologií se naskytla alternativa Internal gripper LGG od společnosti Zimmer group s podobným mechanismem, kde jsou pneumaticky vysunovány pryžové válečky a síla stlačení je mnohem větší.

Základní požadavky pro manipulaci jádry:

- Využití otvoru D 32 mm
- Nosnost: 5 kg / otvor

Ze škály verzí série LGG byla nejvhodnější varianta s průměrem 29,5 mm a při vysunutí válečků až 35 mm. Za dodržení provozních tlaků je schopen tento manipulátor vyvolat sílu až 200 N. S přihlédnutím na třecí síly, snížené rychlosti manipulace a případné vruby, jako je drolení formy, je pořád tato hodnota dostatečná.

Vybraný model pro manipulaci s filtry a ucpávkami: **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**
GEH6060IL



Obr. 26 - LG30-35

Zdroj: <http://www.zimmer-group.de>

- Rozteč válečků: 29,5 – 35 mm
- Přítlačná síla: 200 N

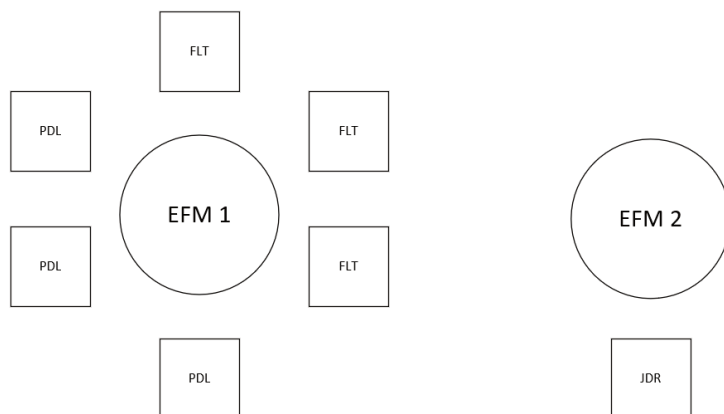
3.2 Automatická výměna efektorů

Předběžně se dalo vyhodnotit, že struktura jednotlivých efektorů bude nesourodá a jednotlivá posloupnost vkládání umožní použití automatické výměny, aniž by výrazně zasahovala do času operačního cyklu.

Manipulace s podložkami, vtokovými filtry a ucpávkami může být uskutečněna na jednom efektoru, protože tyto objekty manipulace mají podobnou hmotnost a dá se očekávat, že jejich efektorů také. Na druhou stranu manipulátor jader má specifický tvar a daleko větší nároky na nosnost. Za předpokladů užití pouze jednoho kombinovaného velkého efektoru by nastaly komplikace s umístěním manipulátorů tak, aby si navzájem nepřekážely a zároveň nekolidovaly s formou při vkládání. Rozdělení na dva efektorů umožní lepší pozice manipulátorů a také optimálnější rozložení těžiště vůči souřadnému systému robotu, což vede k variantám s nižší nosností.

3.3 Celkové zhodnocení funkce

Zvolené technologie vycházejí jak z požadavkového listu, nárokům na minimalizaci rozměrů, tak z diskuzí. Všechny splňují krytí IP67. U magnetického manipulátoru byla laboratorně otestována jeho funkčnost. Vzhledem k operačnímu cyklu a rozdílným hmotnostem objektů manipulace byla zvážena možnost automatické výměny efektorů a případná modularita.



Obr. 27 - Rozložení efektorů a modularita

Efektor manipulace 1 by tedy sloužil ke vkládání podložek, filtrů a ucpávek. Podle typu formy by se mohl částečně modularizovat, kdy například forma bez podložek může mít pouze manipulátory pro filtry a tím se urychlí celá manipulační operace.

3.4 Roboty a manipulátory

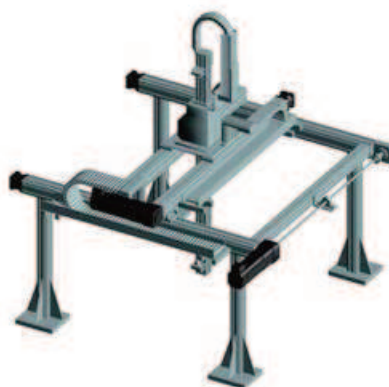
Ke splnění manipulační úlohy lze za daných uvažovat o více druzích robotů a manipulátorů. Hlavní kritéria jsou:

- pracovní prostor
- nosnost
- počet os (všechny díly jsou sice vsazovány shora, ale ještě není zřejmá orientace jednotlivých efektorů a případné kolizní stavy)

V této kapitole se pouze rozeberou případné možnosti, ale finální výběr bude proveden až po konstrukčním zpracování všech efektorů.

3.4.1 Robot Gantry

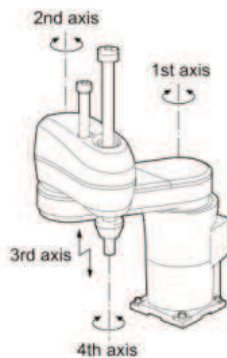
Jinak označován jako kartézský robot má standardně 1-3 translační osy. Pro danou úlohu by se uvažovaly translace v osách x, y, z . Má specifickou rámovou konstrukci, která je velmi robustní a tuhá. Výhodou je, že zabírá minimální prostor na podlaze. Nevýhodou je absence rotační vazby, která by orientovala efektor ve vertikální ose.



Obr. 28 - Robot Gantry

3.4.2 Robot Scara

Tento robot je hojně využíván v jednoduchých manipulačních úlohách - „pick and place“. Jeho dvě rotační osy dokážou pracovat s velmi vysokou rychlostí z důvodu minimalizace dynamických účinků ramen. Třetí, translační osa je umístěna buď na základně nebo na posledním rameni a pohybuje se ve vertikálním směru. Čtvrtá, rotační osa slouží k orientaci efektoru. Většina jeho verzí však nemá potřebné dosahy pracovního prostoru.



Obr. 29 - Robot Scara

3.4.3 Paletizační robot

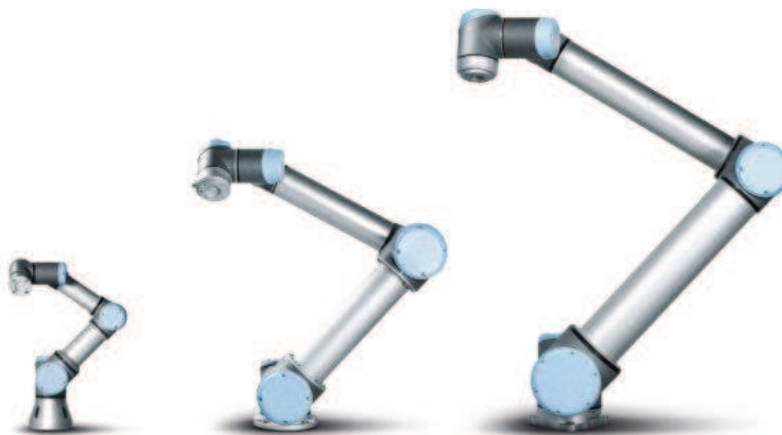
Název sice naznačuje jeho majoritní aplikační oblast, ale hlavní specifikace je v tom, že je konstruován tak, aby koncový interface byl vždy ve vodorovné poloze. Má 3 polohovací rotační osy a jednu orientační. Bývá levnější než univerzální průmyslové roboty, ale má větší zástavbu z důvodu paralelogramu.



Obr. 30 - Robot pro paletizace

3.4.4 Kooperativní robot

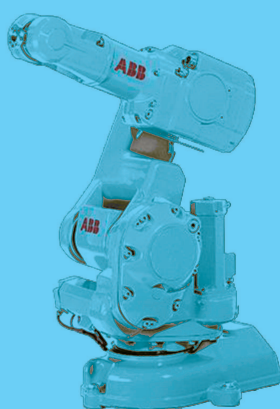
Oproti všem ostatním variantám by se mohlo uvažovat o sníženém zabezpečení pracoviště. Kooperativní roboty jsou v současnosti dostupné v mnoha variantách, ale málo z nich má nosnosti přesahující 10 kg.



Obr. 31 - Kooperativní roboty UR

3.4.5 Průmyslový robot

Klasický 6osý robot využívaný ve všech odvětvích výroby i manipulace. Výhodou je široká řada modelů od mnoha výrobců. U návrhu manipulačních procesů se může stát, že se úloha špatně vyhodnotí a v případě deficitních robotů by to mohlo znamenat i dodatečný zásah do efektoru nebo přidání další osy orientace složitým způsobem. Pokrytím orientace koncového interface ve všech osách se tyto komplikace mohou vyřešit mnohem jednodušeji. Ve výsledku by mohl být i parametry ekvivalentní průmyslový robot levnější, než varianty s nižším počtem os.



Obr. 32 - Univerzální průmyslový robot

4 Zpracování technologie manipulace

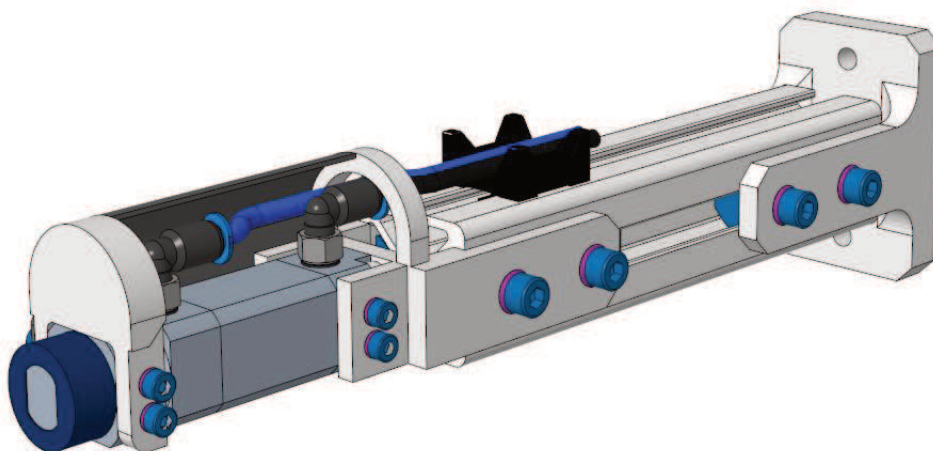
V této kapitole je popsáno konstrukční zpracování zvolených koncepcí a možnosti modularity a automatické výměny. Dále zde byly koncepčně navrženy periferie pracoviště, které jsou důležité k manipulačnímu procesu a technologie pro určení referenční pozice robotu vůči formě.

4.1 Sub-efektory

Pod pojmem sub-efektor se myslí modul hlavního efektoru, který manipuluje s právě jedním prvkem vkládaným do formy. Z řešerše se využije technologie a dále bude konstrukčně uzpůsobena k použití. V tento okamžik byly specifikovány i maximální hloubky pro zakládání (220 mm), aby délky ramen sub-efektorů byly schopny dosáhnout na potřebná místa zakládání. I přes mezní hodnotu byly však sub-efektory navrženy i pro případné zvětšení této hodnoty. Veškeré konstrukční a montážní náležitosti jsou přiloženy ve formě výkresové dokumentace: [Příloha E:].

4.1.1 Podložky

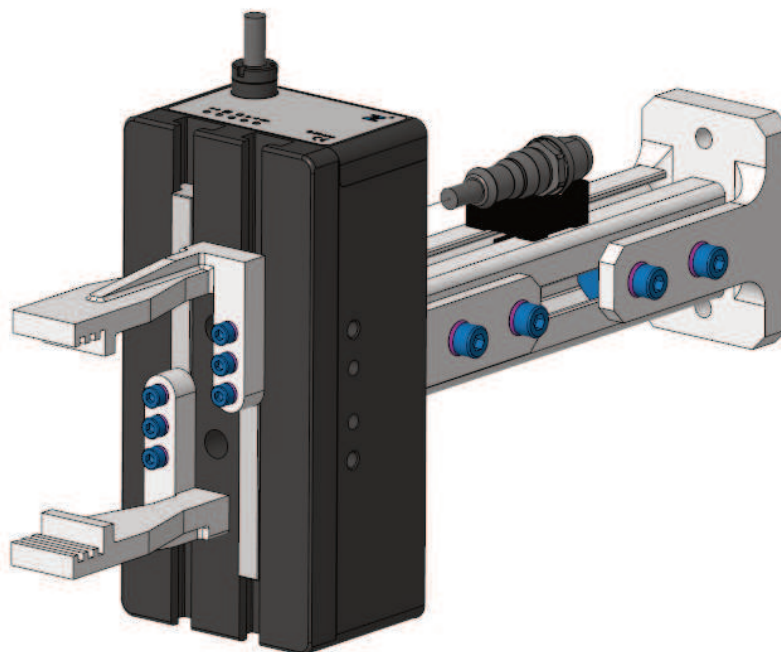
Sub-efektor podložek k funkci potřebuje 2 pneumatické vstupy pro ovládání pozice magnetu. Manipulátor byl upevněn k profilu 30x30 společnosti Alváris, která poskytuje i potřebné příslušenství k vedení hadic. Šroubení je kryto 1 mm plechem (zde je plech v řezu). Jeho hmotnost je 0,9 kg.



Obr. 33 - Sub-efektor podložek

4.1.2 Vtokové filtry a Ucpávky

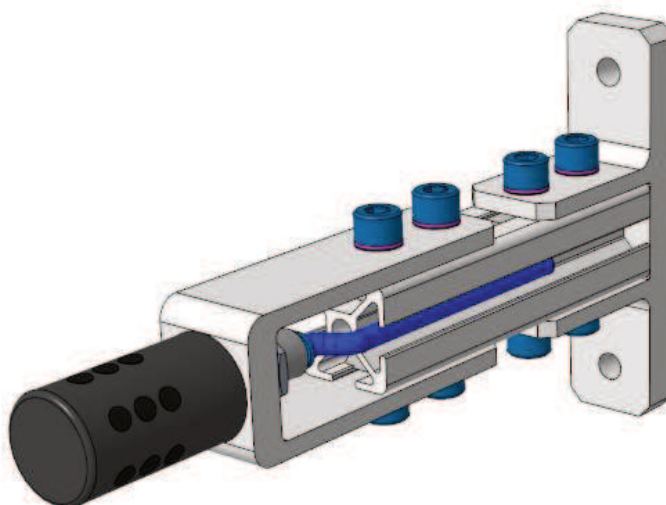
Funkce sub-efektoru filtrů a ucpávek je řízena přes 1 konektor. Manipulátor byl také umístěn na profil 30x30 a má stejnou montážní přírubu k hlavnímu efektoru. Jeho hmotnost je 1,5 kg.



Obr. 34 - Sub-efektor filtrů a ucpávek

4.1.3 Jádra

Sub-efektor jader už bude umístěn na druhém hlavním efektoru. Má proto i jinou připojovací přírubu. K ovládání je potřeba jeden pneumatický vstup.

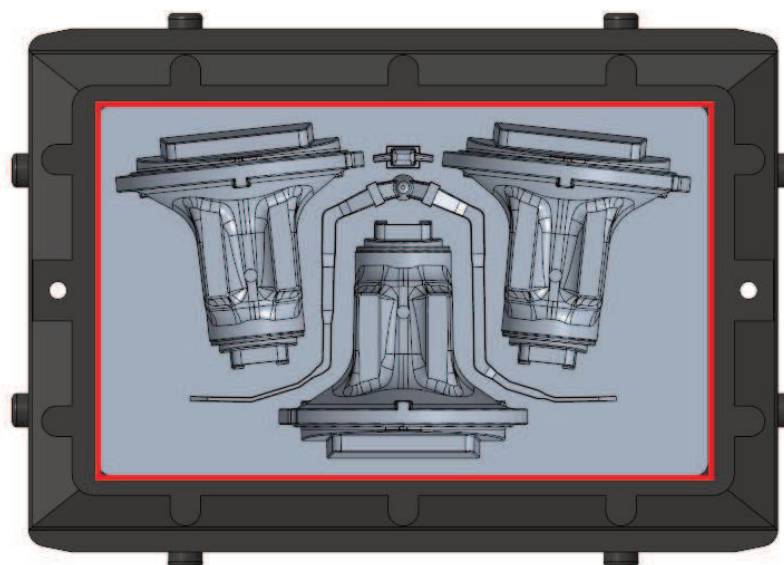


Obr. 35 - Sub-efektor jader

4.1.4 Zjištění referenční pozice formy

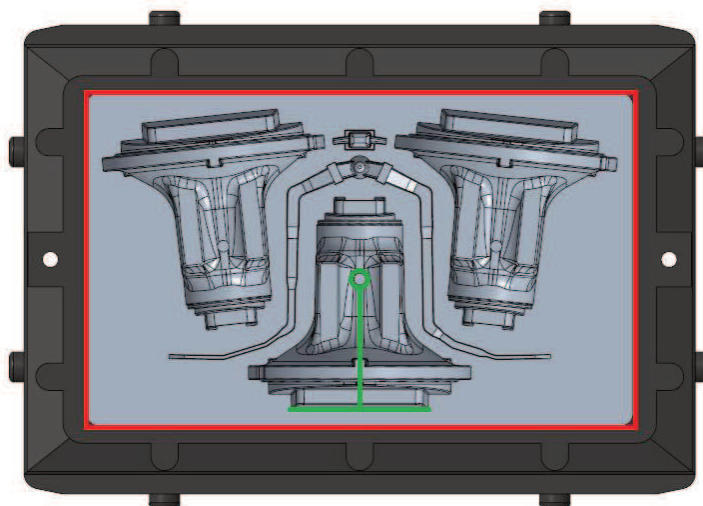
V dřívějších kapitolách bylo zmíněno, že je potřeba diagnostikovat pozici formy, jelikož nejsou vždy přesně orientované vůči hlavní lince a také písková část nemusí pokaždé odpovídat pevně nastavené referenci.

Pro zajištění polohy byly navrhovány mechanické i senzorické varianty. Mechanickou variantou byl myšlen doraz, který by ukotvil formu v přesné pozici po jejím zastavení. Toto řešení však nenabízelo kompenzaci nepřesností pískové části. Z toho důvodu se využilo smart kamery se zabudovaným LED přísvitem, která by měla být schopna určit různé reference. Z analýzy je definováno, že písková část formy má jinou barvu než kovová a lze tedy určit základní orientaci obdélníku pískového obrysu.



Obr. 36 - Detekce obrysu pískové části

Dále už se pro každou formu musí zvolit individuální reference, která určí výchozí pozici pro zakládací souřadnice. Tato reference je diskutabilní a záleží na skutečném stavu formy po nasvícení, které hrany se jeví jako vhodné (možnosti optické diagnostiky formy řeší jiná diplomová práce, zadaná stejnou slévárnou, proto zde není technologie hlouběji popisována).



Obr. 37 - Příklad individuální reference

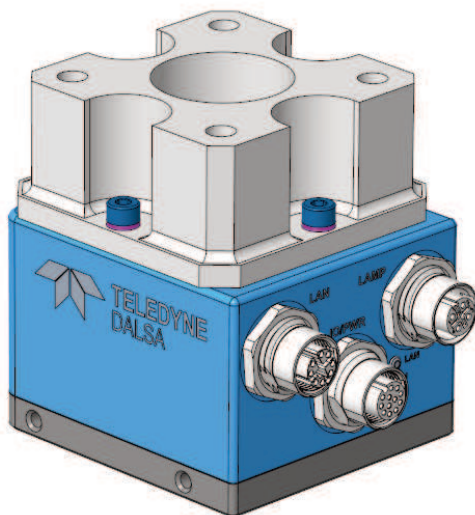
Smart kamera pro diagnostiku byla zvolena od firmy Teledyne. Má k dispozici mnoho variant včetně čočky s integrovaným LED přísvitkem. Mimo rozlišení základní geometrie umí mnoho dalších rozeznávacích funkcí, které mohou být slévárnou v budoucnu využívány.



Obr. 38 - Teledyne BOA 2 s LED přísvitkem

Zdroj: <https://www.teledynedalsa.com>

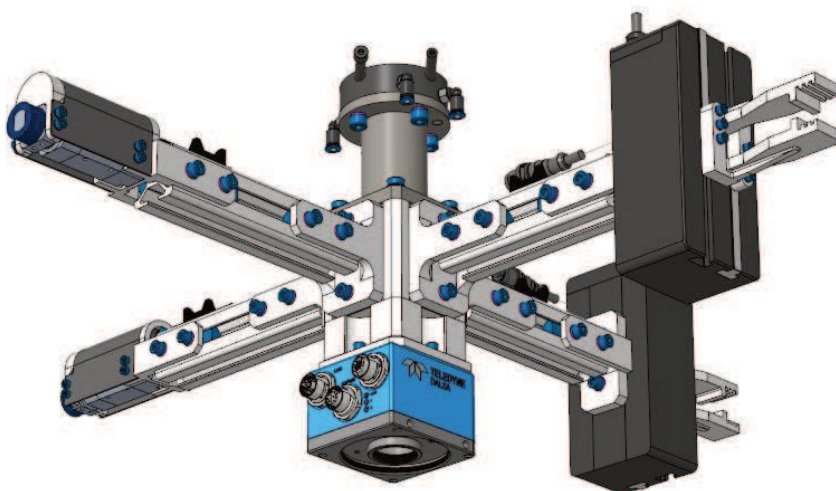
Kamera je umístěna na první efektor manipulace (se sub-efektory podložek a filtrů), protože tímto efektem vždy začíná manipulační proces. Kamera si najede do středu linky a jmenovitěho středu pozice formy, kde provede optickou diagnostiku a korekci souřadnic.



Obr. 39 - Konstrukční úchyt smart kamery

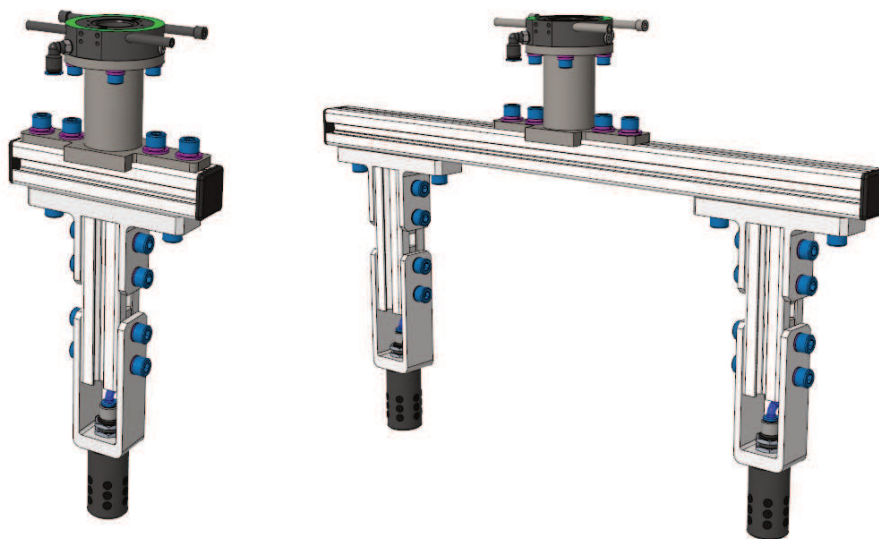
4.2 Struktura hlavních efektorů

Efektor manipulace 1 má do kříže umístěné 4 sub-efektory. Vzhledem k podobné hmotnosti se nemusely dávat naproti sobě. Veškeré konstrukční a montážní náležitosti jsou přiloženy ve formě výkresové dokumentace: [Příloha E:]



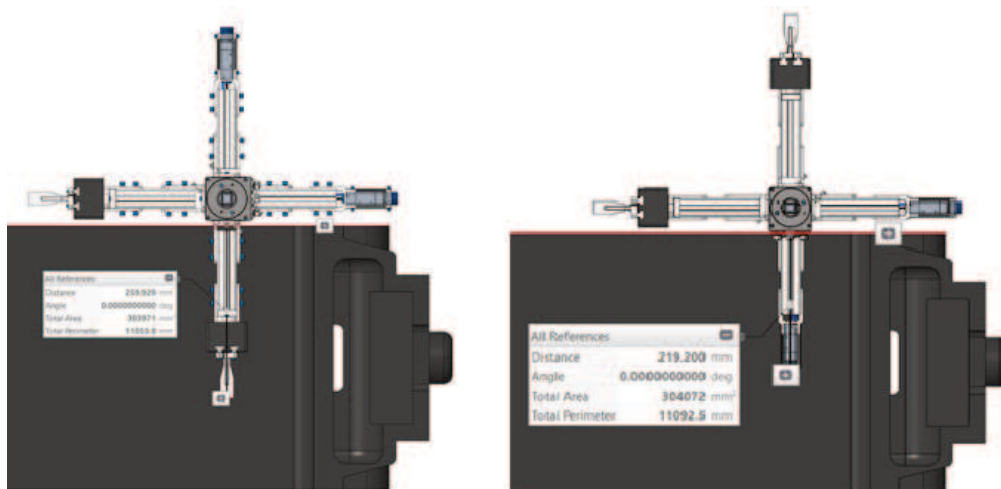
Obr. 40 - Efektor manipulace 1

Efektor manipulace 2 zakládá jádra a má dva druhy provedení. Podle požadavkového listu se ve formě objevuje jeden druh formy minimální dobu jednu směnu. V případě, kdy se změní typ jádra na dvou otvorové, musí se obsluhou vyměnit efektor na pracovišti, nebo se navrhne výměnná stanice pro všechny efekty.



Obr. 41 - Efektory manipulace 2

Efektor manipulace 1 byl zkontrolován, že dosahuje požadované hloubky zakládání. V případě, kdy by nedosahovaly, lze objednat delší hliníkové profily Alváris.



Obr. 42 - Kontrola zakládací hloubky sub-efektorů

4.3 Automatická výměna efektorů

Pro uskutečnění automatické výměny byl vybrán interface firmy Zimmer group. V návrhu se muselo počítat s nutným počtem pneumatických a elektrických vstupů.

Tabulka 2 - Výčet vstupů EFM 1

| EFM 1 | Pneumatika | Elektronika |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Sub-efektor podložky</i> | 2x2 | 0 |
| <i>Sub-efektor filtry</i> | 0 | 2x1 |
| <i>Kamera</i> | 0 | 1 |
| CELKEM | 4 | 3 |

Tabulka 3 - Výčet vstupů EFM 2

| EFM 2 | Pneumatika | Elektronika |
|--------------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Sub-efektor jádra</i> | 1 / 2* | 0 |
| CELKEM | 1 / 2 | 0 |

**Podle počtu sub efektorů*

Pro zajištění funkce všech sub-efektorů musí být přenášeny nezávisle 4 pneumatické vstupy a 3 elektronické.

Vybraný model modulu automatické výměny: **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** WWR50F-B

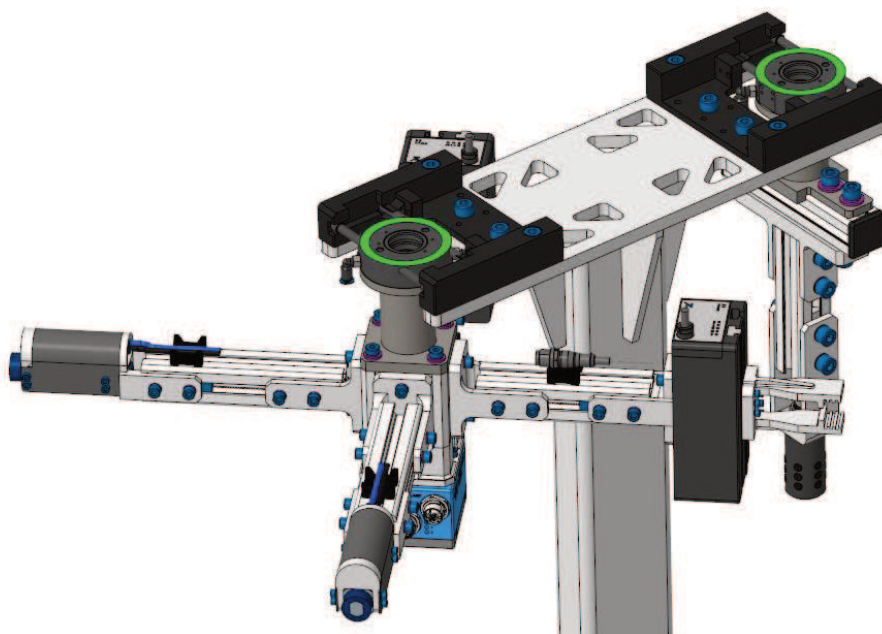


Obr. 43 - Modul automatické výměny efektorů

Zdroj: <http://www.zimmer-group.de>

- Nosnost: 30 kg
- Přenos pneumatiky: 4 vstupy
- Přenos elektrické energie: volitelné

Tyto moduly mají k dispozici v katalogu i originální dokovací stanice, ke které byl vyroben nosný stůl. Za předpokladu, že efektor jader bude měnit obsluha, byl navržena efektorová stanice.



Obr. 44 - Efektorová stanice

4.4 Výběr robotu

Po zhotovení konstrukčního návrhu efektorů jsou již známy nároky na nosnost robotu. Kritická hmotnost na koncové části robotu nastává v případě manipulace nejtěžších jader. Při výpočtu potřebné nosnosti se uvažovalo i o dodatečném zatížení na rameni robotu, kde může být umístěn ventilový blok, pro řízení pneumatiky, nebo různé další komponenty pro funkci efektorů.

Tabulka 4 - Součet hmotností pro dimenzování nosnosti robotu

| Prvek | Hmotnost [kg] |
|---|----------------------|
| <i>Efektor jádra: varianta 2 sub-efektory</i> | 3,5 |
| <i>Nejtěžší jádro</i> | 10 |
| <i>Příruba robotu</i> | 1 |
| <i>Modul aut. výměny: strana robotu</i> | 0,5 |
| <i>Dodatečné prvky na rameni robotu</i> | 5 |
| <i>Dynamické účinky</i> | x100% |
| CELKEM | 40 kg |

Nosnost robotu je nadhodnocena v dynamických účincích, kdy s jádry se nebude nikdy operovat s velkým zrychlením. Přesto je vhodné uvažovat o větší nosnosti, z důvodu možných přídavných prvků na efektory, jako je např. senzorika, spojovací materiál, hadice apod. Ostatní manipulační operace nejsou zdaleka tak náročné na nosnost.

Po průzkumu trhu a zhodnocení potřebných poloh efektorů byla vybrána nejvhodnější varianta univerzální robot. Jeho orientační ústrojí a možné polohy jsou pro danou úlohu neoptimálnější. Robot byl vybrán z katalogu společnosti ABB.

Vybraný robot: **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** ABB IRB 4600-40/2.55

- Nosnost: 40 kg
- pracovní dosah: 2,55 m

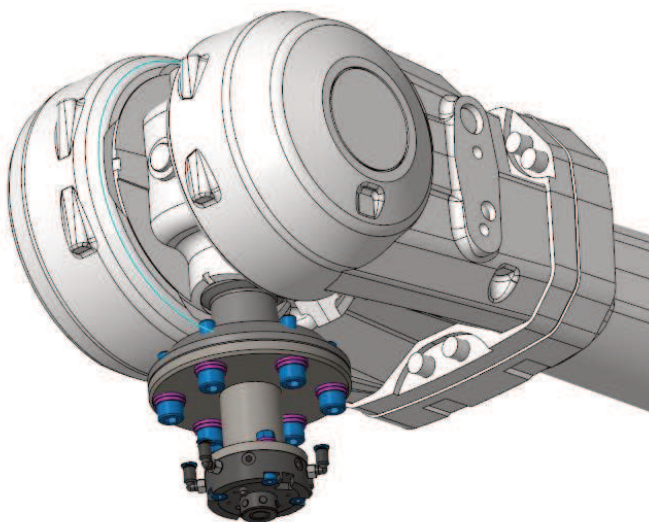


Obr. 45 - IRB 4600-40/2.55

Zdroj: <http://new.abb.com/>

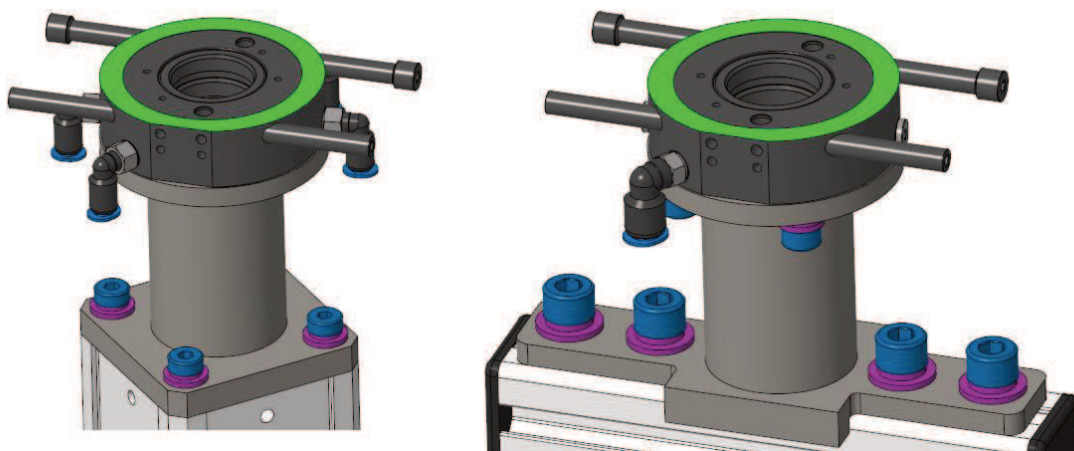
4.4.1 Uzpůsobení interface

Modul automatické výměny má definováno, který díl se využívá na straně robotu a nástroje. Ke spojení robot - modul byla vyrobena svařovaná příruba z oceli.



Obr. 46 - Interface robot – modul

Ke spojení modul – nástroj byly vytvořeny svařované příruby z oceli, pro každý efektor jiná. Jejich výroba je podložena výkresovou dokumentací.



Obr. 47 - Interface modul - nástroj

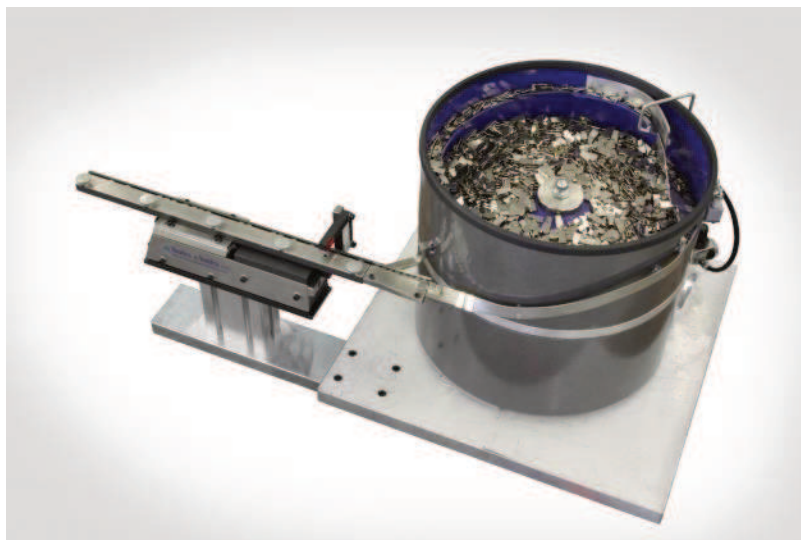
4.5 Periferie manipulace

V této kapitole jsou zpracovány potřebné periferie k automatizaci vkládání prvků. Je nutné zajistit přesné pozice podložek, filtrů a ucpávek. Přísun jader na pracoviště zajistí slévárna svým dopravníkem, kde bylo definováno, že jádra budou vždy orientována daným směrem, ale manipulační otvor nebude vždy ve vertikální ose. Pro návrh periferií je důležité zajistit přísun dostatečné definované kapacity a bezpečnou obsluhu.

Pro každou formu musí být dodáno maximálně:

- 1 druh podložek
- 2 druhy filtrů
- 1 druh jader
- 1 druh ucpávek

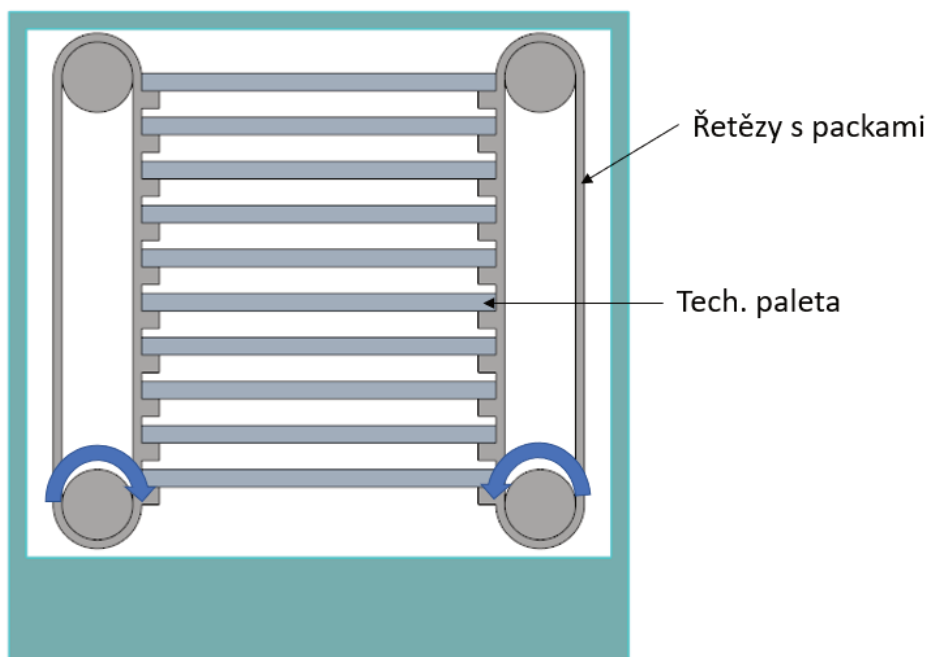
Pro přísun podložek byly nejprve zkoumány technologie vibračních podavačů. Tato technologie je využívána pro menší objekty různých tvarů a definuje ji způsob plnění. Obsluha by v daném případě pouze vsypala podložky do zásobníku. Nevýhodou těchto systémů je hlučnost a při výměně typu podložky se musí měnit části celého systému, ať už násypka nebo podávací dráha.



Obr. 48 - Vibrační zásobník

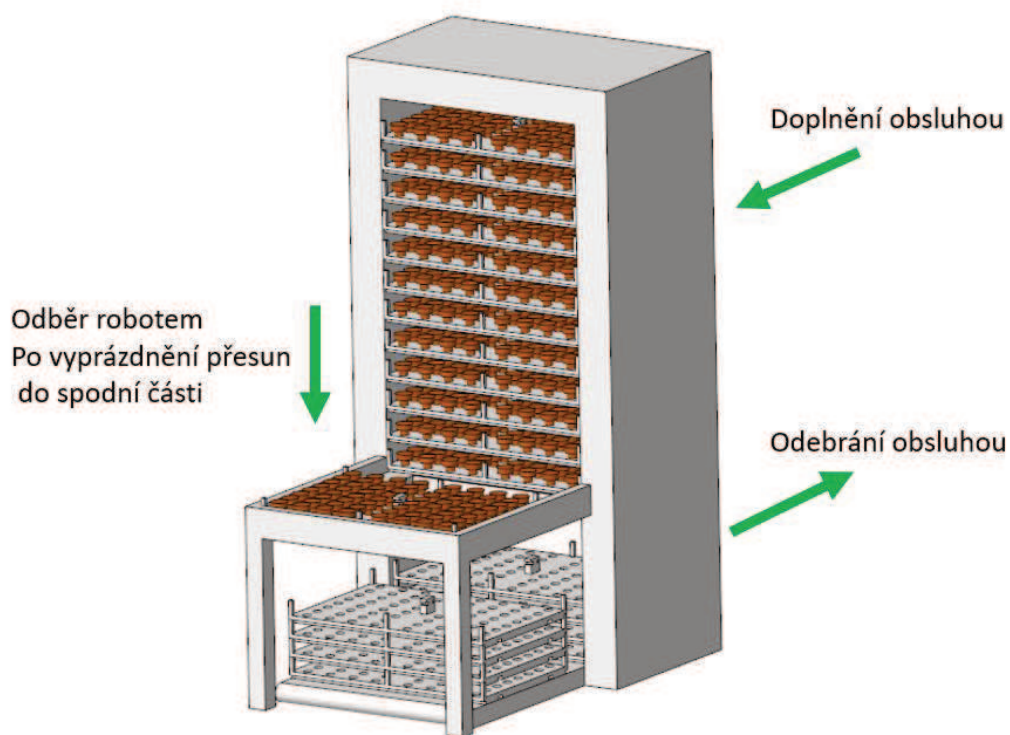
Pro filtry i ucpávky je tato technologie nepoužitelná z důvodu možného poškození způsobeného vibracemi a vzájemným kontaktem. Zároveň zde vzniká nová úloha pro řešení principu celého systému, podávací dráhy a jejich výměny při změně typu formy. Tato řešení by vyžadovala dlouhé testování a nemusela by zaručovat správnou funkci.

Jako druhá možná technologie byly zkoumány vertikální zásobníky, ve kterých jsou vloženy technologické palety s objekty manipulace. Jejich princip spočívá ve dvojicích řetězů na společném hřídeli se speciálními packami, na které se usazují palety.



Obr. 49 - Princip vertikálního zásobníku

Takový zásobník se doplní odebíracím mechanismem prázdných palet, nebo by se mohlo uvažovat o odebírání robotem.



Obr. 50 - Koncept vertikálního zásobníku palet

Další technologií s využitím technologických palet je zásuvkový zásobník, který vyrábí např. společnost Yaskawa. Zásuvky jsou otevíratelné na obě strany, kdy z jedné jsou objekty manipulace vybírány robotem a z druhé obsluha mění prázdnou paletu za plnou.



Obr. 51 - Zásuvkový zásobník Yaskawa

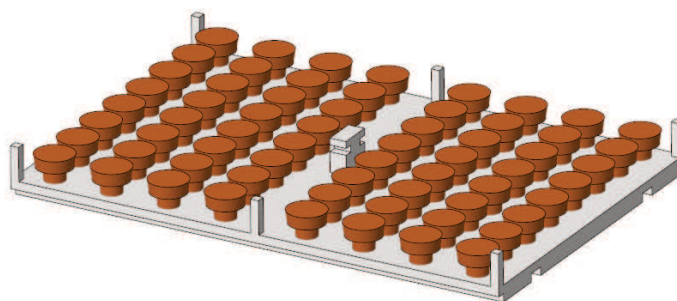
Zdroj: <https://www.packworld.com>

Při zkoumání této technologie se uvažovalo, zda je vůbec nutné použití zásuvek nebo zásobníku, nebo palety pouze skládat na sebe a dopravovat je za pomoci dopravníku.

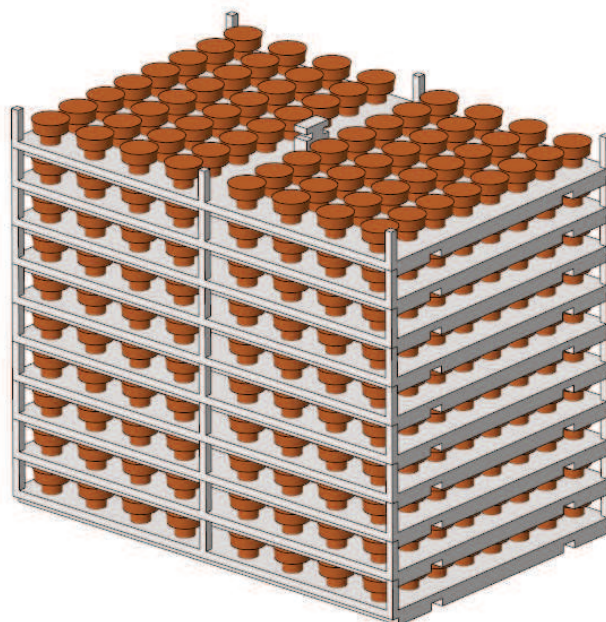
Tento návrh se dále koncepčně zpracoval a následně vyšel jako nejvhodnější varianta, protože v obou případech se musí uvažovat použití speciálních technologických palet a robot zasahuje při jejich výměně. V případě zásoby na dopravníku však nezasahuje do překládání prázdných palet žádná další technologie.

4.5.1 Technologické palety

Technologické palety se navrhly, aby byly schopny se skladovat na sobě v komínu a aby centrální část byla uzpůsobena k manipulaci sub-efektorem filtrů. Tímto řešením jsou palety dodávány na pracoviště dopravníkem. Pro definování pozice palet na dopravníku je předpokládáno využití řetězového dopravníku a palety budou dopravovány skrze speciální drážky, které vymezí polohu v jednom směru. Na konci dopravníku bude umístěn mechanický doraz a optickým senzorem bude kontrolována přítomnost palety. V kritickém případě, kdy by nebyla koncová pozice na dorazu přesná, je možno využít smart kameru, umístěnou na efektoru 1.



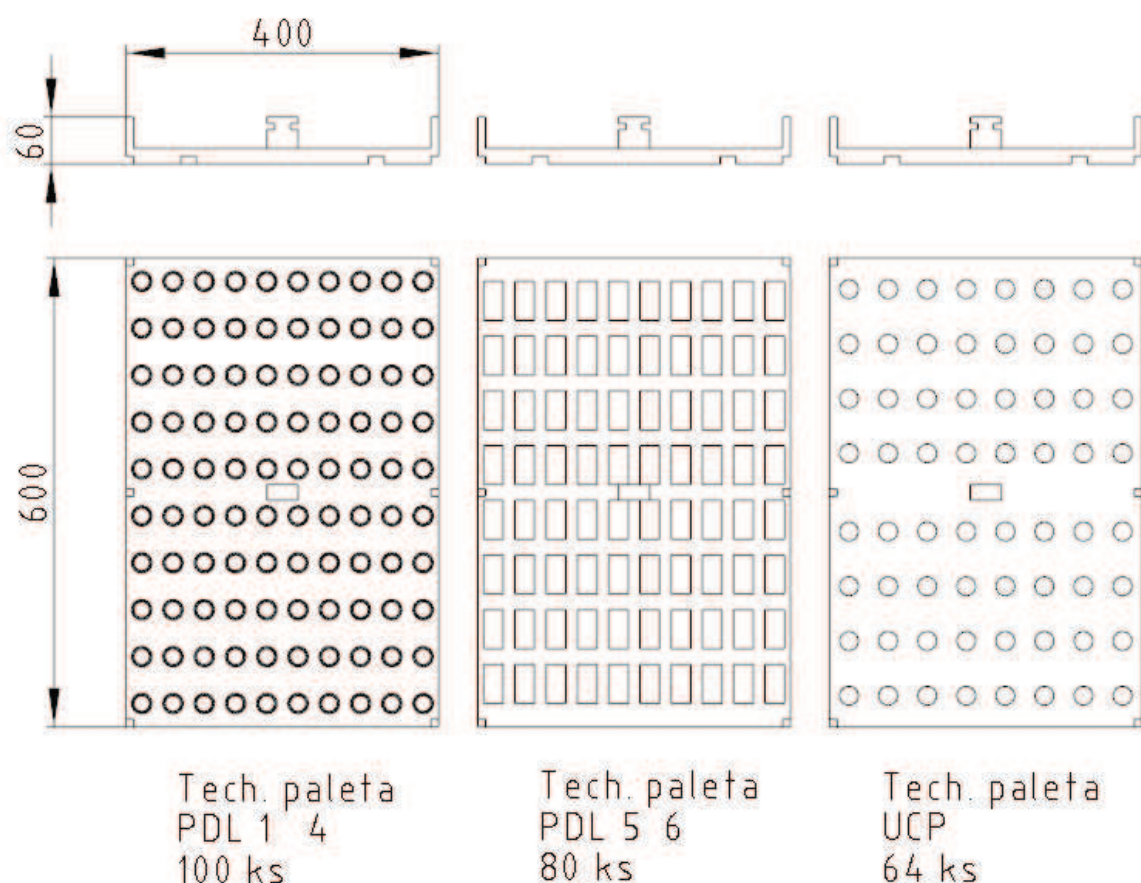
Obr. 52 - Koncepce technologické palety ucpávek



Obr. 53 - Koncepce komínu palet

Palety byly však vhodnou variantou pouze pro podložky a ucpávky, protože filtry musí být uchopitelné dvěma způsoby. Robot by si musel v jistých případech filtr položit do dalšího přípravku a poté uchytit vhodným způsobem pro zakládání. Dalším důvodem byla daleko menší kapacita na jedné paletě vůči podložkám a ucpávkám.

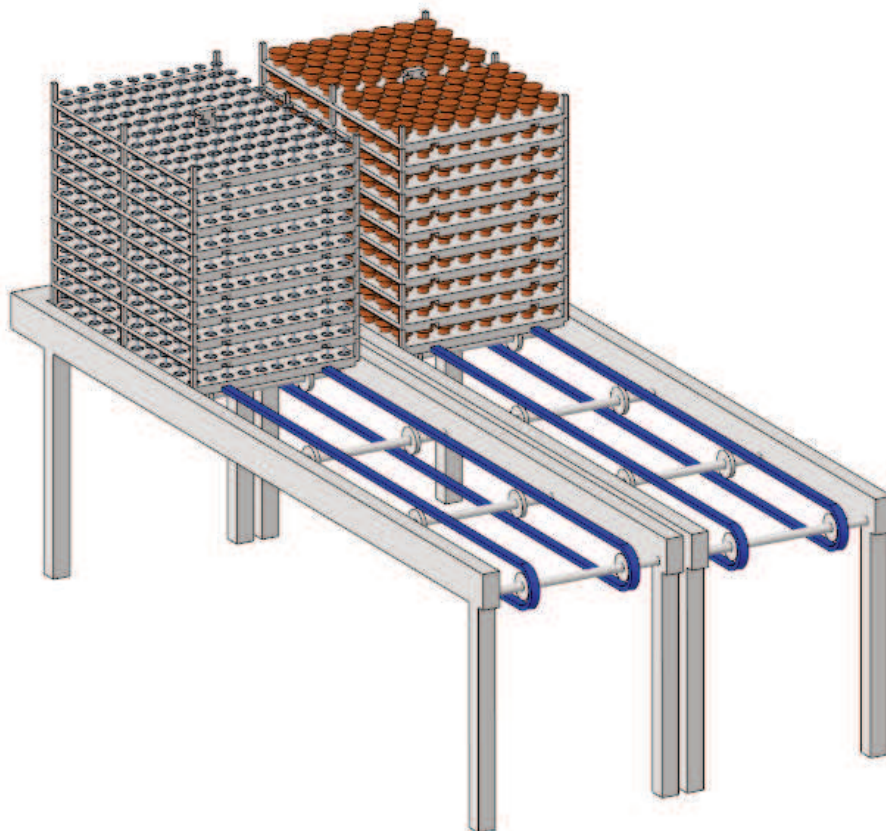
Výsledná koncepce technologických palet byla rozměrově navržena tak, aby mohla být snadno přenosná obsluhou. Předpokládaný materiál je plast. Minimální počet výroby byl stanoven na 100 kusů a levnější variantou výroby vstřikovací forma. První koncepty pro testování však mohou být vyrobeny obráběním plastových polotovarů.



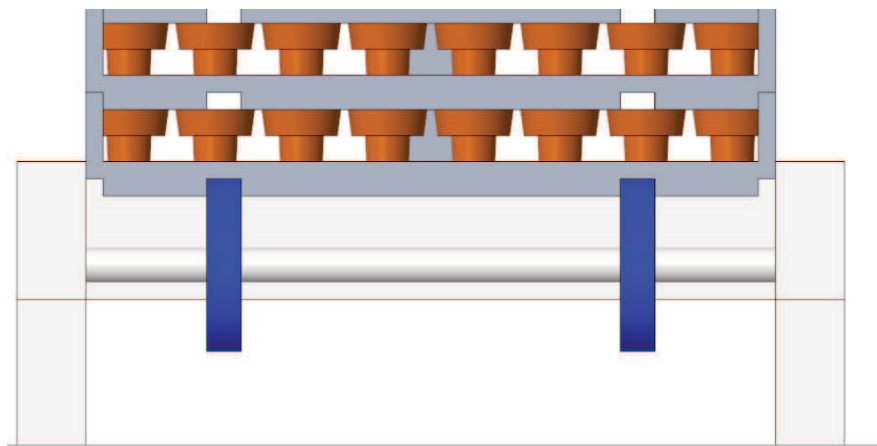
Obr. 54 - Kapacita technologických palet

4.5.2 Řetězové dopravníky

Tyto dopravníky mohou být zakoupeny jako celek, při zadání požadovaných parametrů. Rozteč a tloušťka řetězů bude odpovídat drážkám v technologických paletách. Délky dopravníků budou navrženy tak, aby dosahovaly pracovního prostoru robotu, zásoby palet si vzájemně při přeskládání nekolidovaly a aby měla obsluha z druhé strany dobrý přístup k doplnění. Výsledné délky dopravníků jsou zaznamenány ve výkresové dokumentaci.



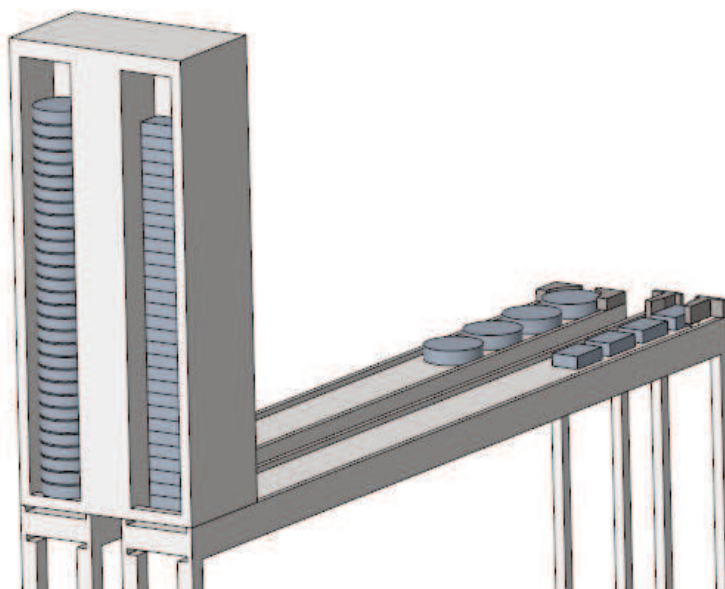
Obr. 55 - Koncepce řetězových dopravníků



Obr. 56 - Řez dopravníkem

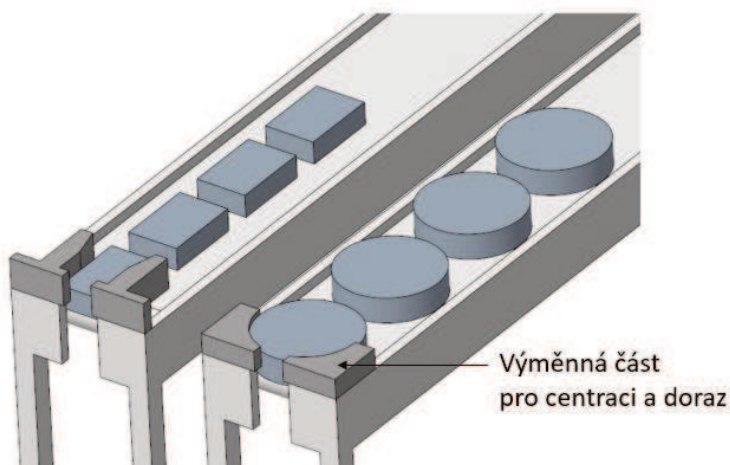
4.5.3 Dopravníky filtrů se zásobníky

Po provedení návrhů bylo zjištěno, že vtokové filtry nejsou vhodné pro přepravu v paletách z důvodu velké plochy a nemožnosti úchopu ze dvou na sebe kolmých směrů. Proto se navrhlo řešení pásového dopravníku se speciálním zásobníkem, který je dimenzován pro hodinovou kapacitu.



Obr. 57 - Koncepce pásového dopravníku se zásobníkem

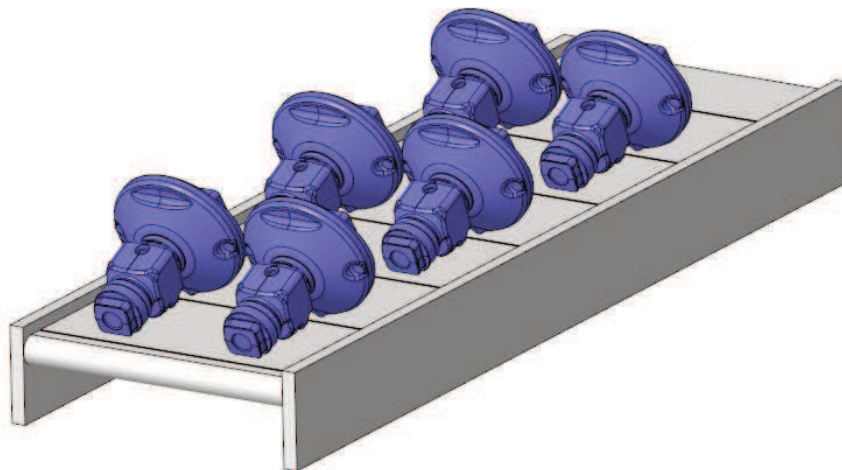
K zajištění pevné pozice v koncové poloze budou navrženy centrační dorazy, které se budou vyměňovat při změně druhu filtru. dorazy budou mít ve střední části mezeru 30 mm a koncová pozice filtru bude 10 mm za krajem dopravníku. Tím se umožní uchycení filtru shora a ze strany.



Obr. 58 - Koncepce tvarového dorazu pro definici polohy

4.5.4 Dopravník jader JDR

Dopravník jader je zařízen slévárnou. Jeho pozice je zaznamenána ve výkresové dokumentaci. Jádra jsou dopravována vždy stejně orientována a podle velikosti mohou být uložena i vedle sebe. Detekce otvoru manipulace je prováděna stejnou smart kamerou, jaká je umístěna na efektoru manipulace. Kamera je umístěna na sloupu slévárny do osy dopravníku.

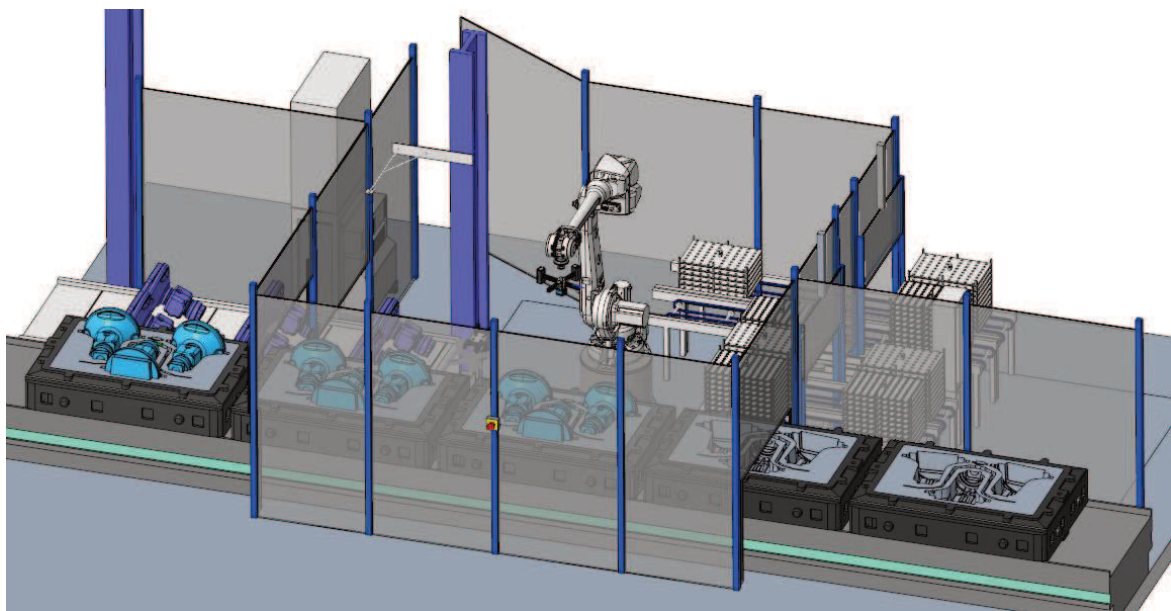


Obr. 59 - Dopravník jader s referenčními jádry

Obecně problematika s jádrem je pro automatizaci velkou komplikací, jelikož pro zakládání jader řadových palet, ve kterých jsou jádra v současné chvíli skladována, by vyžadovala druhý robot, který by obsluhoval pouze manipulaci jader. Uvažovalo se také o úplném vysazení operace vkládání jader, kdy by obsluha z řadové palety zakládala jádra ručně. U jader hrozí pouze minimální chybovost při zakládání. Tato varianta by však potřebovala dočasně dostat formu z automatizované části a zpátky, protože robot v některých případech musí vložit objekty manipulace i na horní části jader.

5 Zpracování RTP

Už při definování všech objektů pracoviště (efektory, robot, periferie) se uvažovalo o jejich případném umístění na pracovišti. Slévárnou byla dodatečně definována pozice dopravníku jader. Zbytek prostoru se využil pro umístění navržených celků.



Obr. 60 - Náhled pracoviště

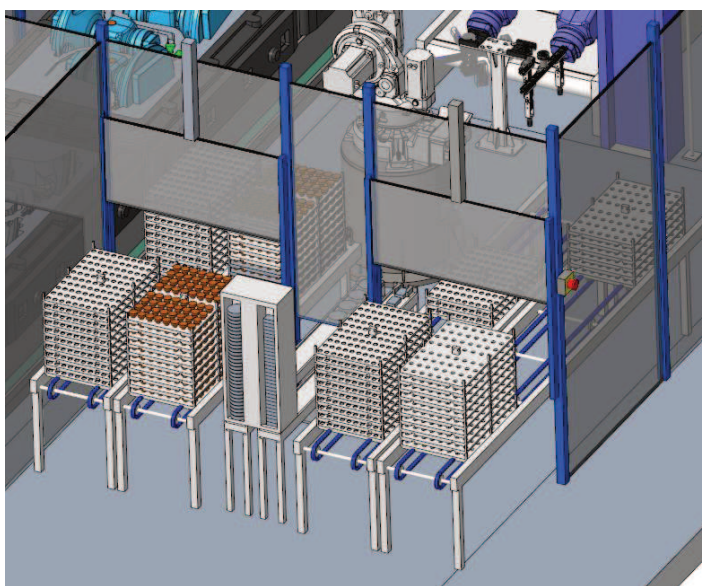
5.1 Layout pracoviště

Rozvržení layoutu [Příloha E: – 000_00]. Pracoviště má celkem 6 vstupů a 3 výstupy.

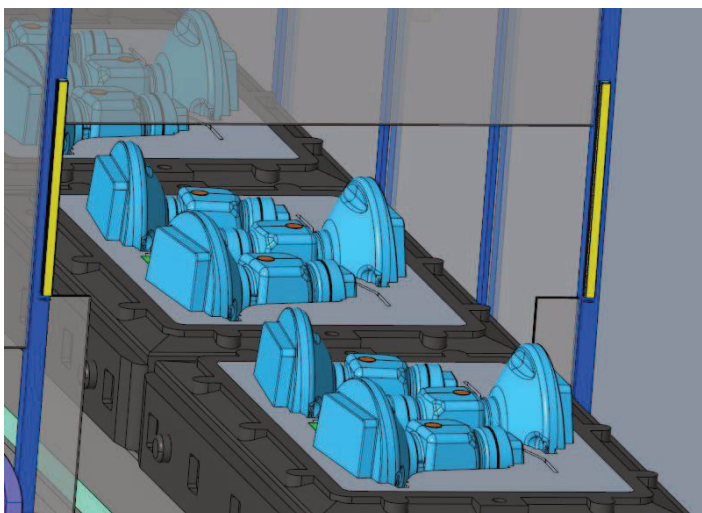
- VSTUP 1 – Podložky
- VSTUP 2 – Ucpávky
- VSTUP 3 – Filtr 1
- VSTUP 4 – Filtr 2
- VSTUP 5 – Jádra
- VSTUP 6 – Formy
- VÝSTUP 1 – Podložky
- VÝSTUP 2 – Filtry
- VÝSTUP 3 – Hotová forma

5.2 Zabezpečení

Celé pracoviště je chráněno bezpečnostním oplocením výšky 2200 mm od firmy Haberkorn. Všechny vstupy a výstupy pracoviště jsou rozměrově uzpůsobeny tak, aby nedošlo ke vniknutí osob, nebo jsou mechanicky zavírány. Výstup forem je opatřen světelnou závorou, protože zde musí být ponechán větší otvor. Operátor může vstoupit do pracoviště brankou, v případě, když je pracoviště zastaveno a jediným úkonem operátora uvnitř při bezchybném provozu je výměna efektoru jader a centrovacích dorazů dopravníků filtrů. Pracoviště má na strategických místech umístěny bezpečnostní stop tlačítka.



Obr. 61 - Mechanické závory



Obr. 62 - Světelná závora

5.3 Základní pracovní cyklus

Robot má nasazen Efektor manipulace 1 (podložky, filtry, ucpávky) a zásobníky objektů manipulace jsou plné. V efektorové stanici je umístěn správný Efektor manipulace 2 (efektor jader). Na dopravnících filtrů jsou umístěny správné centrovací dorazy.

1. Příjezd formy

- 1.1. Forma se linkou dopravuje na referenční zakládací pozici
- 1.2. Robot si připravuje první vkládané objekty manipulace
- 1.3. Robot najíždí do pozice diagnostiky polohy formy

2. Zastavení formy

- 2.1. Forma zastavuje na referenční zakládací pozici
- 2.2. Robot kamerou vyhodnocuje a provádí korekci zakládacích souřadnic

3. Vkládání objektů

- 3.1. Robot vkládá podle programu podložky a filtry do spodní části formy
- 3.2. Pokud jsou přítomna jádra, robot mění efektor manipulace
- 3.3. Robot vkládá podle programu jádra do spodní části formy
- 3.4. Robot mění efektor manipulace
- 3.5. Robot vkládá ucpávky do otvorů jader
- 3.6. Robot vkládá podle programu podložky a filtry na horní část jader
- 3.7. Robot zajíždí do home pozice

4. Odjezd formy

- 4.1. Robot potvrzuje home pozici
- 4.2. Forma odjíždí z referenční zakládací pozice

5.4 Cenový odhad

Tabulka 5 - Cenový odhad pracoviště

| Cenový odhad (ke dni 21.5.2018 - kurz ČNB 1EUR = 25,6 Kč) | | | |
|--|-----------------------|-------------------|--------------------------|
| Kupované díly | cena/kus [EUR] | počet kusů | cena celkem [EUR] |
| ABB | | | |
| IRB 4600-40/2.55 | 31 200 | 1 | 31 200 |
| Schmalz | | | |
| Mag. Gripper SGM-HP 20 | 160 | 2 | 320 |
| Zimmer group | | | |
| 2 JAW Gripper GEH6060IL | 1 666 | 2 | 3 332 |
| Internal gripper LG30-35 | 155 | 3 | 465 |
| Tool changer WWR50 | | | |
| WWR50F-B (strana robot) | 930 | 1 | 930 |
| WWR50L-B (strana - nástroj) | 308 | 3 | 924 |
| Storage station (odkládací modul) | 636 | 2 | 1 272 |
| Snímač přítomnosti chapadla | 108 | 2 | 216 |
| Konektor robot | 271 | 3 | 813 |
| Konektor nástroj | 265 | 3 | 795 |
| Teledyne | | | |
| Smart kamera BOA 2 | 3 200 | 2 | 6 400 |
| IFM | | | |
| Senzorika - čidla optika/laser | 100 | 20 | 2 000 |
| Světelná bariéra (pár) | 480 | 1 | 480 |
| Ovládací prvky (tlačítka, ostatní) | 1 200 | 1 | 1 200 |
| Dopravníky | | | |
| Dopravník IN 1 | 4 500 | 2 | 9 000 |
| Dopravník IN 2 | 2 200 | 2 | 4 400 |
| Dopravník OUT | 5 000 | 2 | 10 000 |
| Podavač filtrů | 1 500 | 2 | 3 000 |
| Technologické palety | | | |
| Vstřikovací forma | 10 000 | 1 | 10 000 |
| Technologická paleta (3 varianty) | 10 | 100 | 1 000 |
| HABERKORN | | | |
| Oplocení (dle výkresu) | 3 000 | 1 | 3 000 |
| Alváris | | | |
| Profil 8 30x30 cena/m | 32 | 4 | 128 |
| Příslušenství | 200 | 1 | 200 |
| Ostatní | | | |
| Spojovací materiál | 400 | 1 | 400 |
| Pneumatické komponenty | 300 | 1 | 300 |
| Výroba | | | |
| Svařenec podstavce robotu ABB | 2 200 | 1 | 2 200 |
| Obráběné díly a ostatní svařence | 7 500 | 1 | 7 500 |
| CELKEM | | | 101 475 |

V ceníku je zahrnuta pouze mechanická část, další náklady spojené s řízením, inženýringem, integrací, instalací a programováním budou zahrnuty po přijetí nabídky.

Závěr

Ze zadaných vstupních informací se zpracovaly vhodné technologie manipulace a manipulační efekторы jsou připraveny na případné změny délek dosahů. Důležitým faktorem k testování je optická diagnostika polohy formy. Programy pro zakládání forem si slévárna zajistí, po důkladném školení, sama.

Systém řešení příjezdu objektů manipulace na pracoviště byl vybrán především kvůli jednoduchému principu a po správné integraci i snadnému řízení. Kvůli nutnosti použití technologických palet se vyžaduje větší investice pro vytvoření odlévací formy a díly se musí vsadit do palet buď operátory, nebo při výrobě. Palety však zajišťují kapacitu v ideálním případě i po celou směnu. U filtrů to závisí na návrhu zásobníku.

Přísun jader byl po diskuzi vyřešen slévárnou a diagnostika polohy manipulačních otvorů jader je další komplexní úlohou pro programátory. Pokud by se měla jádra snadno a přesně dostat v požadované kapacitě na pracoviště, muselo by se uvažovat o složitém logistickém systému, který se koncepčně nehodí do staré slévárny.

Seznam použité literatury

- [1] SGM - HP 20. *Schmalz* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.schmalz.com/media/asset/file/m/a/magnetic-gripper-10.01.17.00424-20-206_GB_pdf-standard.pdf
- [2] IRB 4600. *ABB* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032885-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [3] LG 30-35. *Zimmer group* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.zimmer-group.de/dbassets/gd_pg_gd_pg_kt_hwm_hht1_kp_gre_pg_lg15_18_lg30_35_s_english_apd_v1.pdf
- [4] WWR-50. *Zimmer group* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.zimmer-group.de/dbassets/gd_pg_gd_pg_kt_hht2_kp_wwr_pg_wwr50_senglish_apd_v1.pdf
- [5] GEH6060IL. *Zimmer group* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [1] http://www.zimmer-group.de/dbassets/gd_pg_gd_pg_kt_hwm_hht1_kp_gre_pg_geh6060il_senglish_apd_v1.pdf
- [6] ALSR-1. *Zimmer group* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.zimmer-group.de/us/product/0_877_1/alsr1-50-b?backId=1203008&backProductId=6205
- [7] BOA 2. *Teledyne Dalsa* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.teledynedalsa.com/en/products/imaging/smart-cameras/boa2/>

Přílohy

Příloha A: CD médium – Kompletní diplomová práce a dokumentace

Příloha B: Požadavkový list – Pozadavkovy_list.pdf

Příloha C: Layout původního stavu – layout_puvodni.pdf

Příloha D: Specifikace všech objektů manipulace – VDF_Seznam.pdf

Příloha E: Výkresová dokumentace